



北京大学
PEKING UNIVERSITY



制冷新技术及发展趋势

New technology of refrigeration and development trend

报告人：张信荣 教授

TEL: 15801301668

Email: xrzhang@pku.edu.cn

01
PART

形势与政策

中国低碳进行时

02
PART

创新与发展

由大到强的必由之路

03
PART

智慧化作绿色生产力

典型的制冷技术



北京大学
PEKING UNIVERSITY

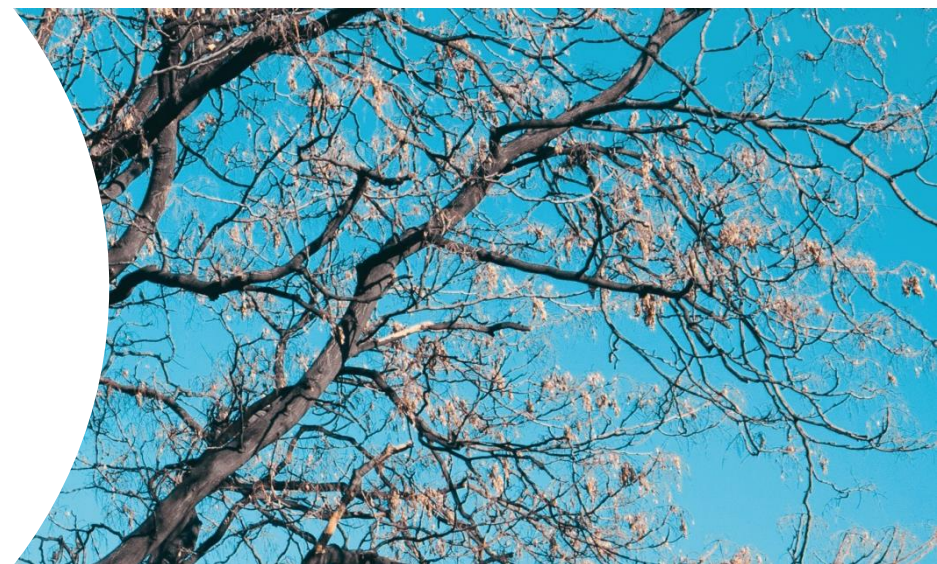
目录
CONTENTS



01

形势与政策

中国低碳进行时



中国碳排放统计数据

碳排放量从侧面见证了中国的快速崛起

1

中国作为世界新兴经济体在过去二十年里工业化速度飞快，2019年的二氧化碳排放量与1990年相比增加了**3.8倍**。

2

2019年中国单位GDP二氧化碳排放量仍排在世界前列，是美国的**2.06倍**，是欧洲的**3.56倍**。

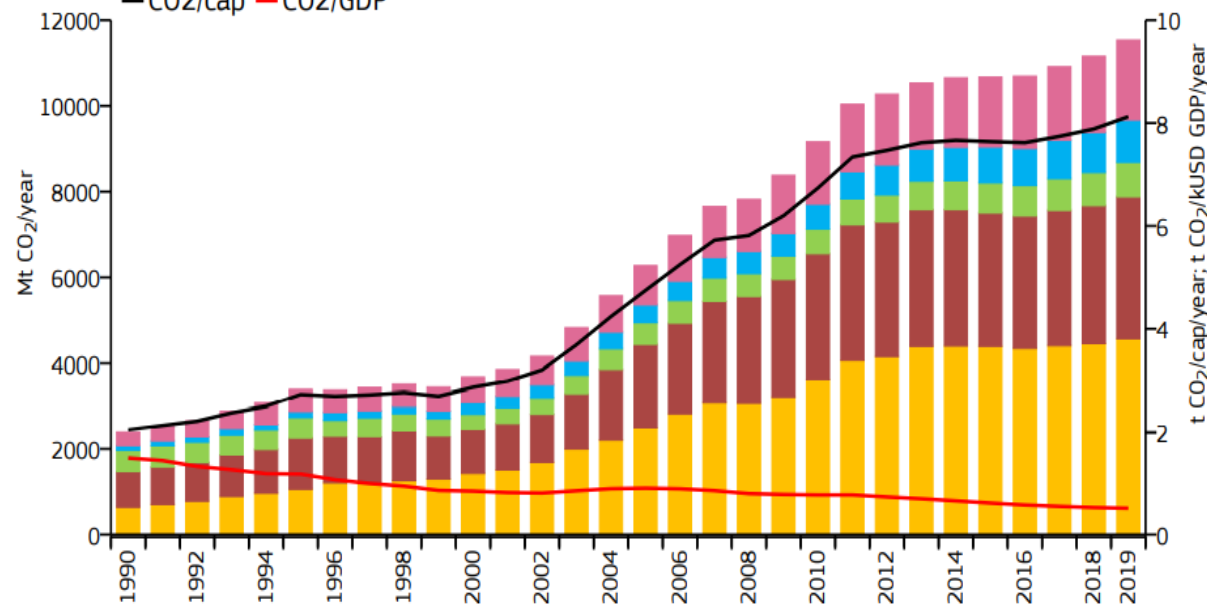
China



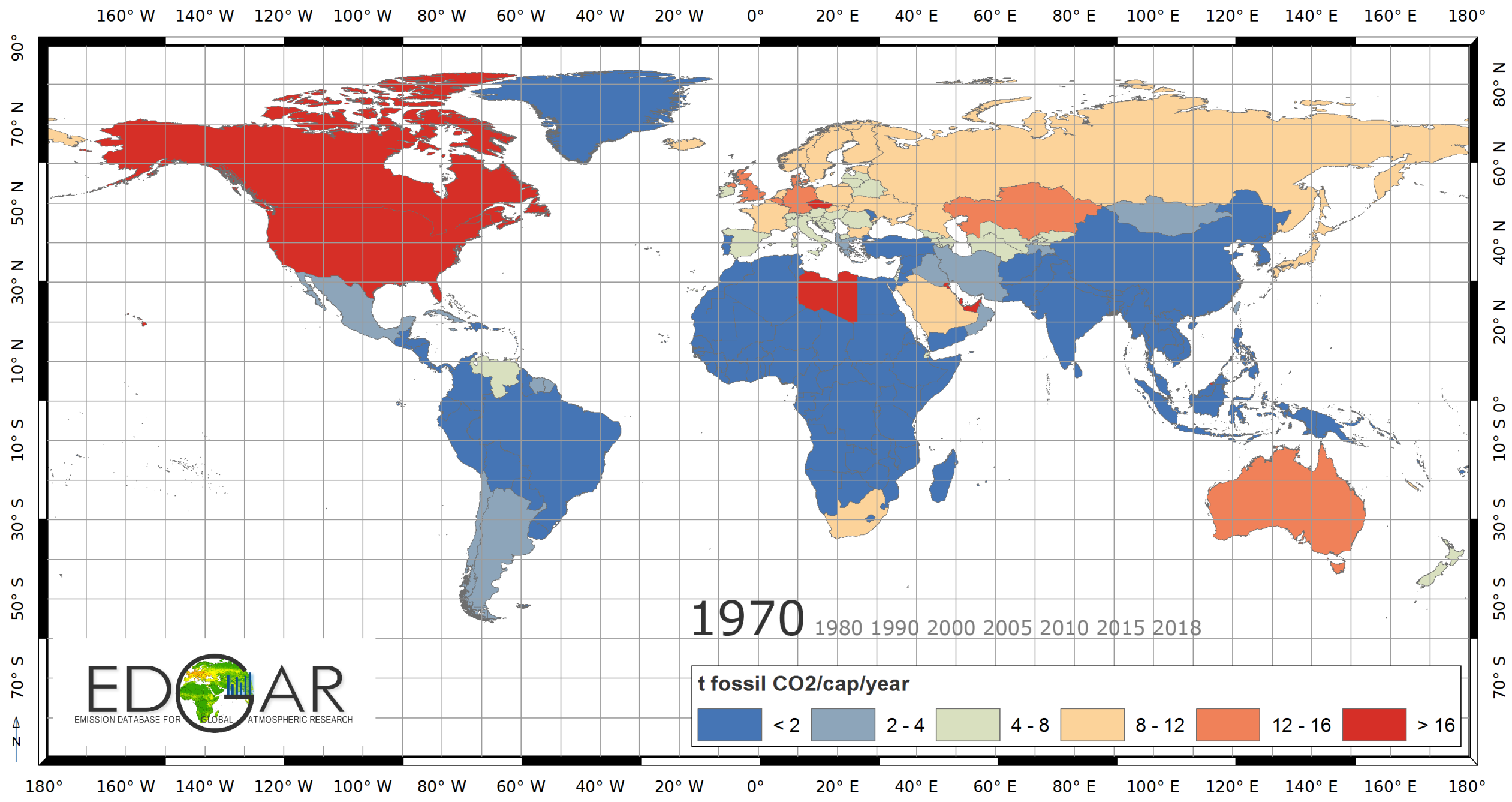
Fossil CO₂ emissions by sector

Power Industry Other industrial combustion Buildings Transport Other sectors

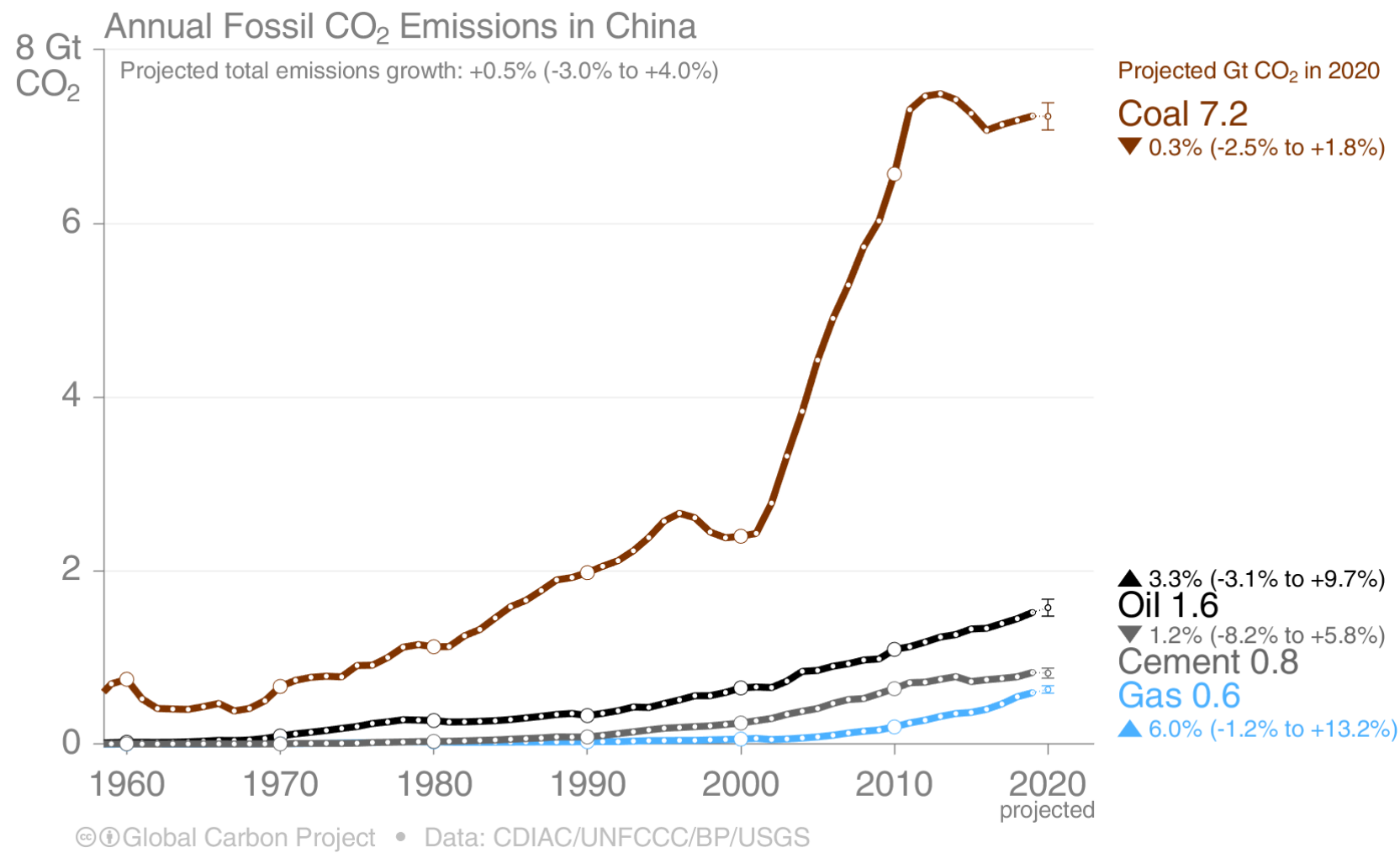
CO₂/cap CO₂/GDP



Year	Mt CO ₂ /yr	t CO ₂ /cap/yr	t CO ₂ /kUSD/yr	Population
2019	11535.200	8.123	0.512	1.420G
2018	11157.071	7.885	0.526	1.415G
2005	6273.361	4.747	0.902	1.322G
1990	2404.743	2.051	1.488	1.172G



中国碳排放的来源



□ 中国主要碳排放来自煤，占比大约**72%**

□ 三大化石燃料导致的碳排放占总碳排放的约**93%**

A photograph of Xi Jinping, President of China, seated at a dark wooden podium. He is wearing a dark blue suit, a white shirt, and a blue patterned tie. His hands are clasped in front of him. To his left is the Chinese national flag. The background features a large mural of the Great Wall of China winding through a mountainous landscape under a warm, orange-hued sky. In the top left corner, there are two small blue squares.

“碳达峰、碳中和”

低碳政策的目标愿景

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**。中央经济工作会议将做好“碳达峰、碳中和”工作列入未来要抓好的**8大重点任务之一**。

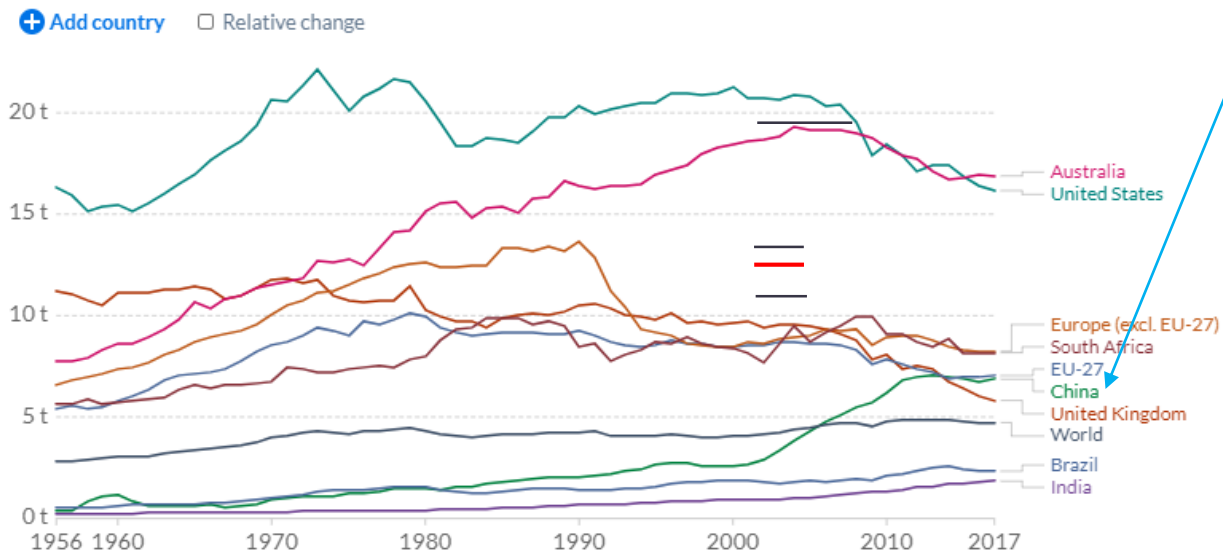
● 中国实现碳中和的最大挑战



北京大学
PEKING UNIVERSITY

Per capita CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project; Gapminder & UN
Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not correct for emissions embedded in traded goods.
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

1750 2019

CHART

MAP

TABLE

SOURCES

DOWNLOAD



Related: [Where in the world do people emit the most CO₂?](#)

□ 2017年中国人均CO₂排放量为6.86 吨每人, 位列世界第 53位, 仅为美国的一半以下, 略低于欧盟国家平均值。

➤ 总消耗量大, 单位GDP能耗高, 总排放量大但人均排放量并不高, 能源结构差是中国实现碳中和的最大挑战。

世界其他国家碳中和战略

➤ 美国于2050碳中和的 “Net-zero America” 战略

终端能源效率与电力化

- 3亿辆电动汽车、1.3亿台热泵用于房间供暖
- EAF/DRI 炼钢技术

减少 非CO2 温室气体排放

- 甲烷, N₂O、氟氯烃等的排放于2050年降至2020年的20%以下

生物燃料与其他零碳燃料

- 每年6.2亿吨生物能源作物的生产
- 至2050年总产出8-19EJ的氢能, 主要用于合成燃料

风能、太阳能与电网稳定性

- 风能、太阳能每年增长数十~数百GW
- 250个1GW核电站、300个750MW天然气电站
- 灵活能源、50-180GW的6小时蓄电池以及其他暂时储电方式

CO₂ 捕获、利用与储存

- 每年埋藏0.5-1.7Gt的CO₂

更多的陆上CO₂储存源

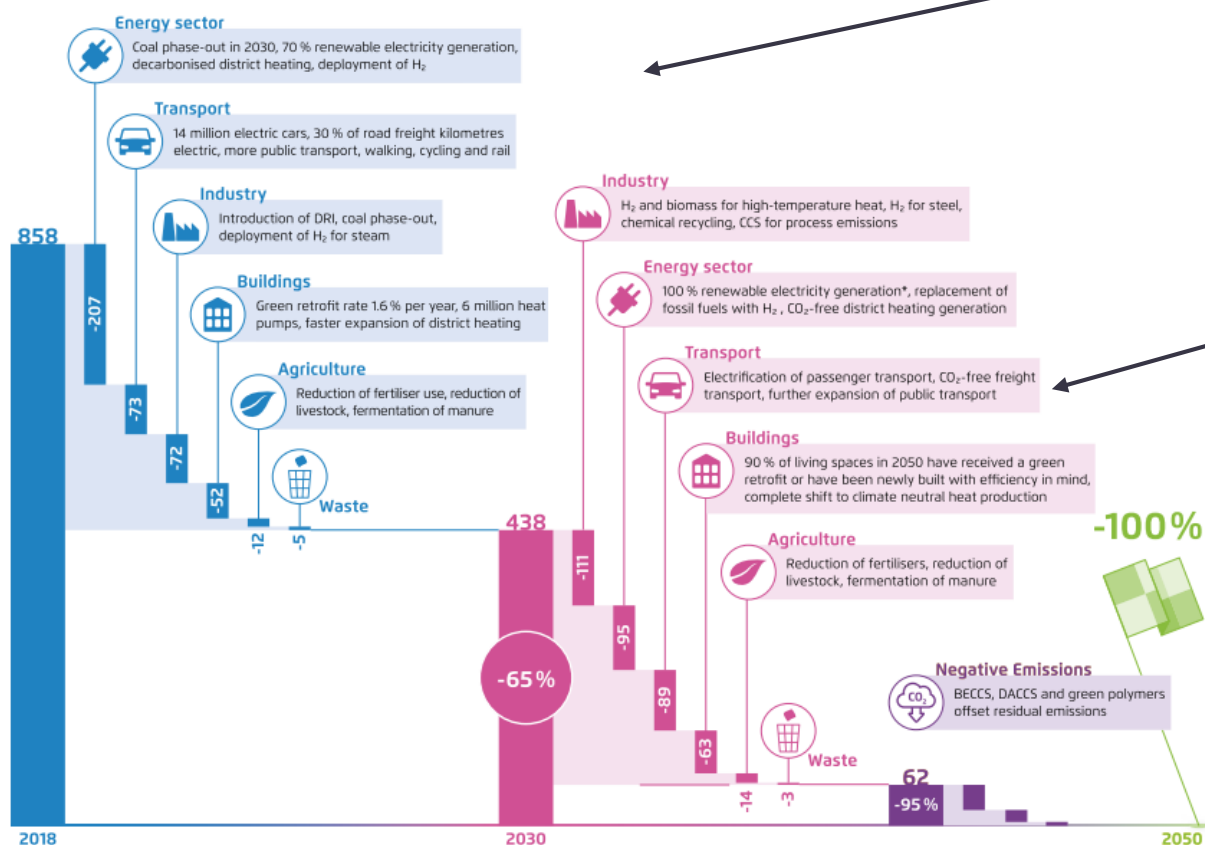
- 大于1.3亿公顷的森林每年可吸收0.5-1Gt的CO₂
- 采用新农技术的农场每年可吸收0.2Gt的CO₂

世界其他国家碳中和战略

德国2030达峰-2050中和的“三步走”战略

Policy measures in the Climate Neutral 2050 scenario (CN2050)
(GHG emissions in Mt CO₂eq)

Figure ES



H₂ = hydrogen

* Includes electricity generation from renewable hydrogen, and from stored and imported renewable electricity.

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020)

□第一步：至2030年减排65%

- 部分使用可再生能源、氢能、电动车、热泵、绿色农业等技术来降低其碳排放；重点在**清洁电力**

□第二步：至2050年排放减少95%

- 全面使用氢能、可再生能源、电动车、节能住宅、绿色农业技术；重点在**清洁工业与交通**

□第三步：中和剩下的5%

- 使用**碳捕捉与碳储存 (CCS)** 技术中和剩余的碳排放



02

创新与发展

由大到强的必由之路



我们能做什么？

开源、节流

可再生能源替代传统的化石能源是理想的方向；

创新性技术实现节能，减少碳排放。

创新与发展



创新与发展趋势

1

产品高效化

2

制冷剂天然化

3

冷源自然化

4

用能可再生化

5

智慧化



北京大学
PEKING UNIVERSITY

A+

A

B

C

D

E

F

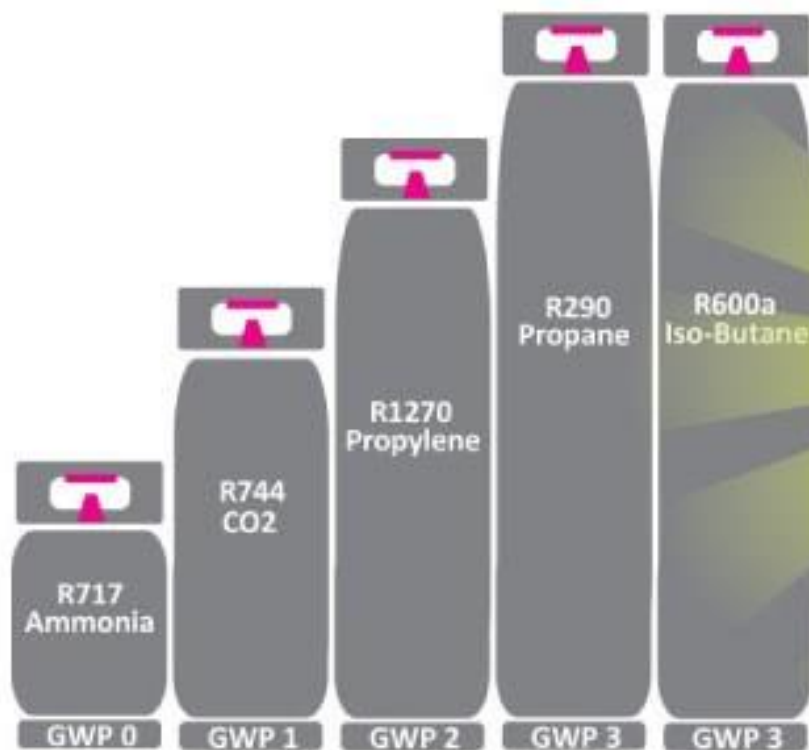
产品高效化

节能减排仍是“碳达峰、碳中和”政策下制冷空调技术未来发展的主要推动力，制冷产品的高效化仍会长期持续下去。

制冷剂天然化

水、空气、氨、二氧化碳和丙烷等天然物质，能够很好地符合国际环保公约，从环保的角度看它们是理想制冷工质。

Natural Refrigerants



冷源自然化



自然界的冷源可以加以利用，利用自然冷源则是减少碳排放的需要，随着社会高度发展和信息化深入，自然冷源技术将会进一步发展和扩大应用。

■ ■ 用能可再生化

包括太阳能、水能、风能、生物质能、波浪能、潮汐能、海洋温差能、地热能等。以可再生能源作为制冷装置、系统的驱动力，满足可持续发展的需求，从源头上降低二氧化碳排放。



信息与智能化

物联网

人工智能

5G

□ 制冷产品对接物联网，具备远程操控和检测功能，推动个性化制造

□ 人工智能技术应用于制冷产品，使其更加智能化

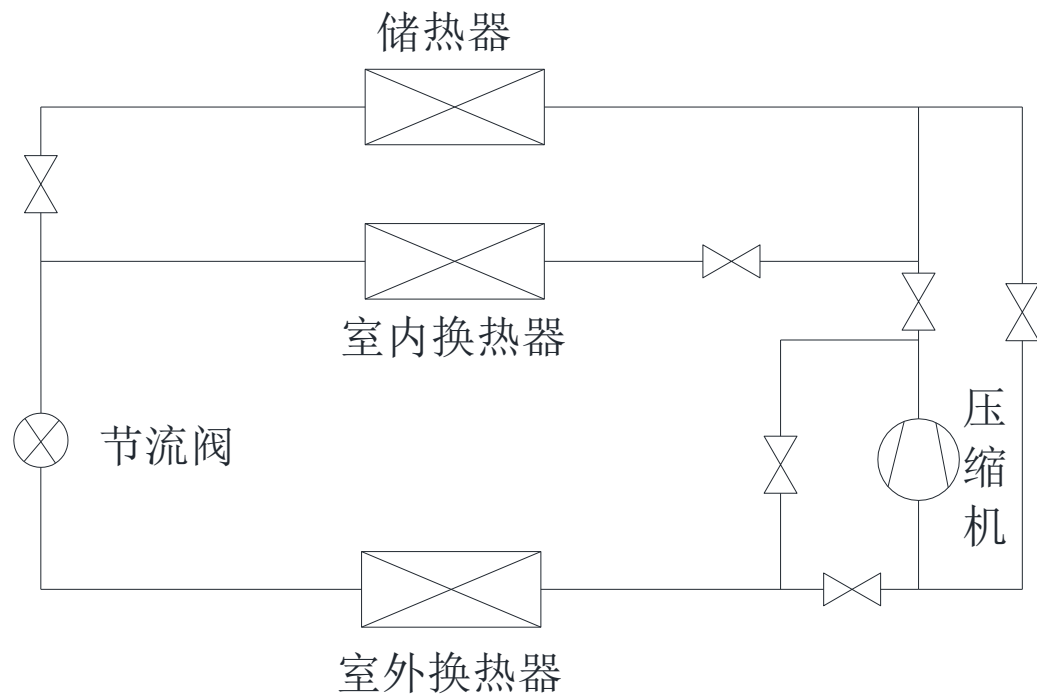
03

智慧化作绿色生产力

典型的制冷技术



产品高效化——储热技术



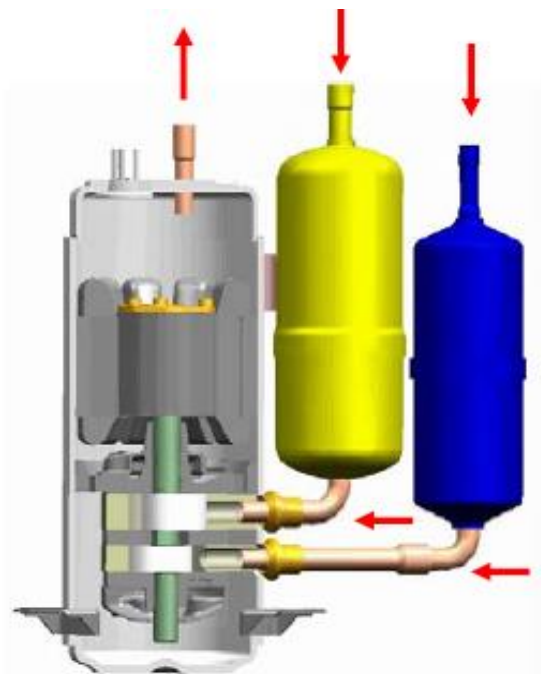
储热除霜制冷系统

相变材料作为蓄能换热器的蓄热材料，工作的余热进行储热，节省除霜能耗，改善压缩机除霜工况下的运行环境。

产品高效化——先进的压缩技术

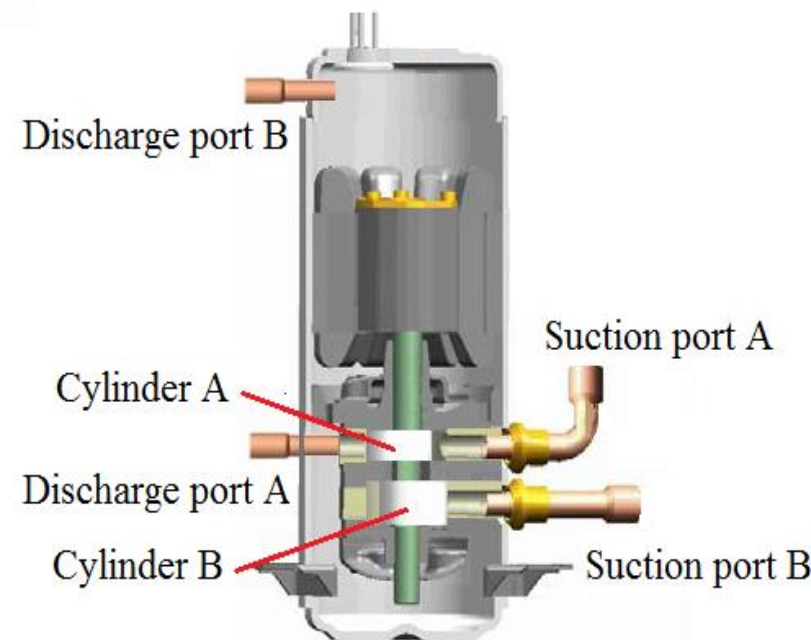
双回路循环

以双回路循环构成梯级压缩系统，可以减小压缩功耗，提高系统工质循环流量，提高综合能效。



双温双控

应用于温湿度独立控制或双区独立温控的系统，使能效得以提高。



产品高效化——无油压缩机



制冷循环采用无油压缩机会大大**简化系统结构**，提高**换热效率**，增加活塞式压缩机活塞环和缸套的**使用寿命**。



一些种类的润滑油来自于**化石原料**，压缩机的无油化还可以**减少化石资源的消耗**，降低**碳排放**。

产品高效化——零能耗冷库



蒸发器融霜优化

风幕、气流组织优化

变频调速

堆货形式优化

可再生能源驱动

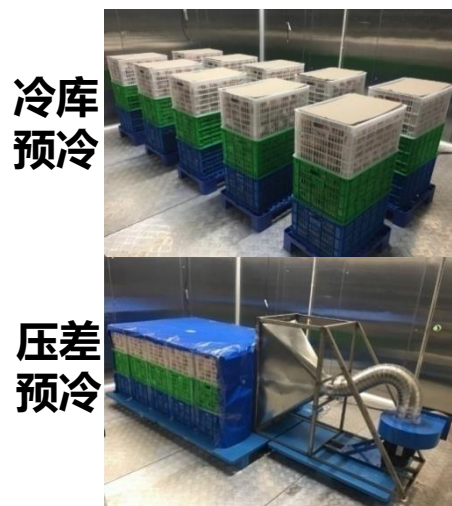
移峰填谷

高效隔热维护结构

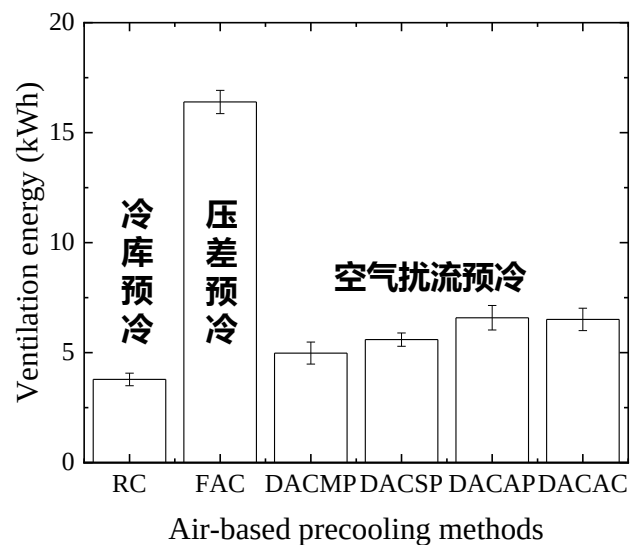
冷凝余热回收利用



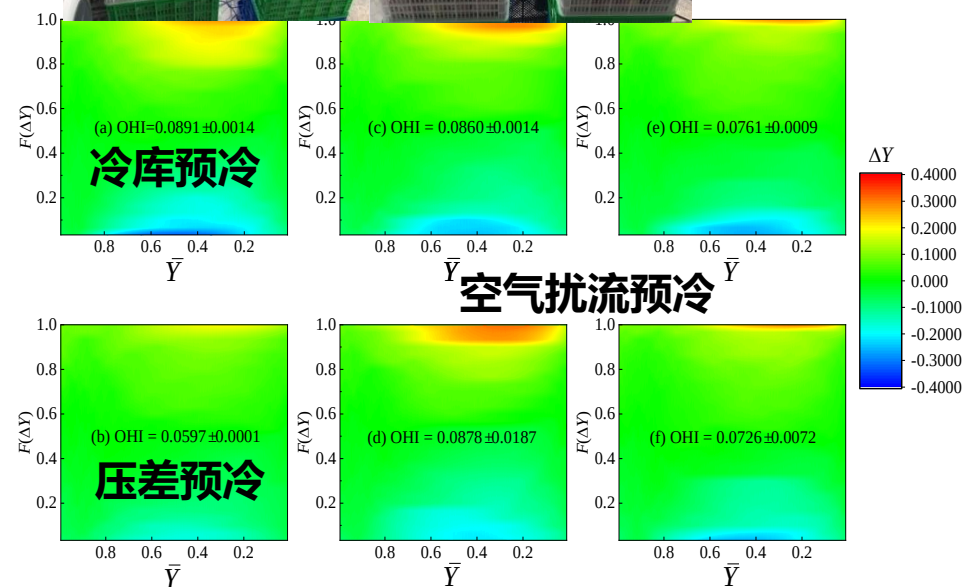
冷库高效空气预冷新工艺



场协同
优化



- ✓通风能耗比压差预冷降低60%
- ✓总能耗降低20~30%以上



- ✓温度非均匀性比冷库预冷降低10%以上

产品高效化——移动冷箱



使用灵活，可变更使用地点，利用率高，功能、规模可根据实际需求灵活组合，利用社区前置仓辐射用户布点，降低中央仓到各终端用户的冷链运输成本。

制冷剂天然化——CO₂冷冻冷藏

直接利用CO₂作为制冷剂是实现“碳中和”的有效方法

跨临界循环制冷

前国际制冷学会主席Lorentzen教授提出CO₂跨临界循环模式后，CO₂制冷系统在全球得到充分发展

复叠式制冷系统

采取复叠式系统令CO₂循环进入亚临界，显著降低系统的循环压力与装备要求

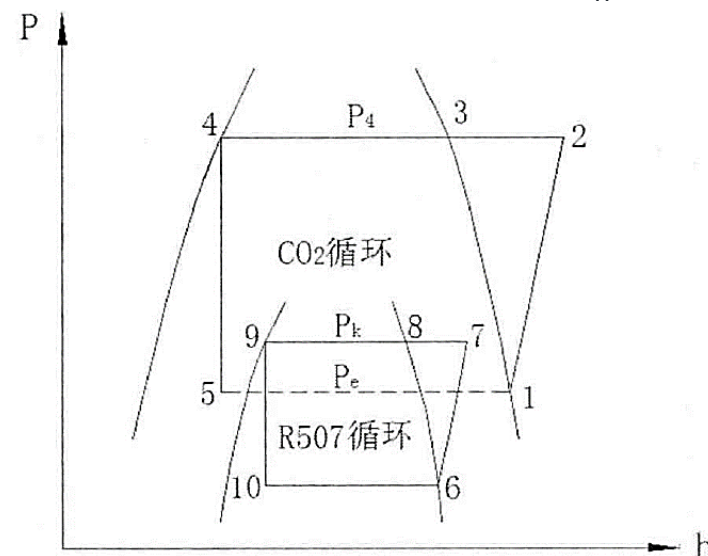
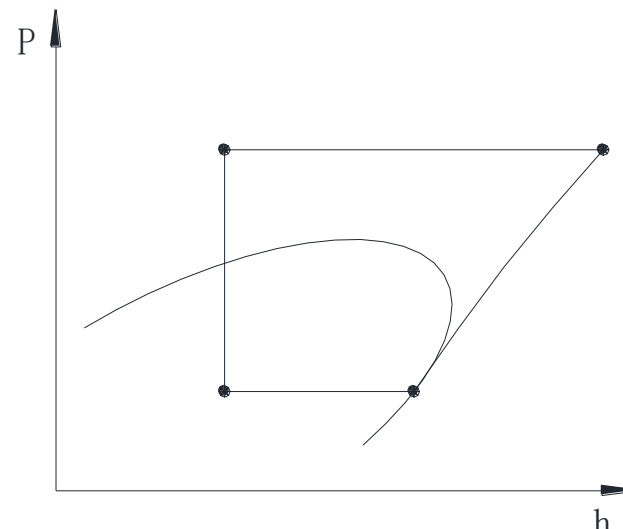
载冷剂系统

采用条件允许的情况下与载冷剂系统配合可降低跨临界系统工质的充注量提高系统安全性与降低投资成本

01

02

03



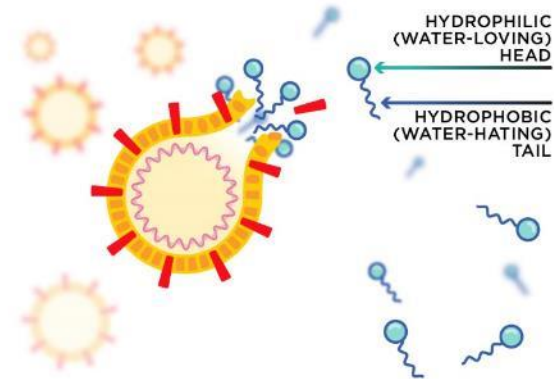
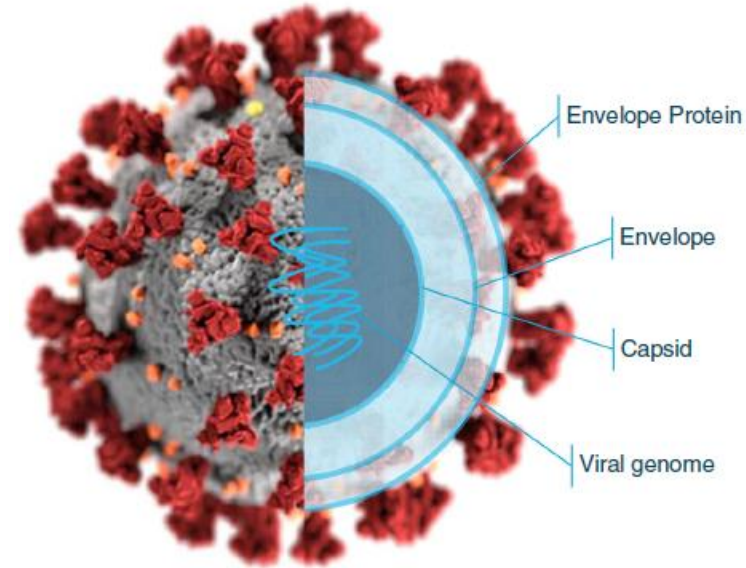
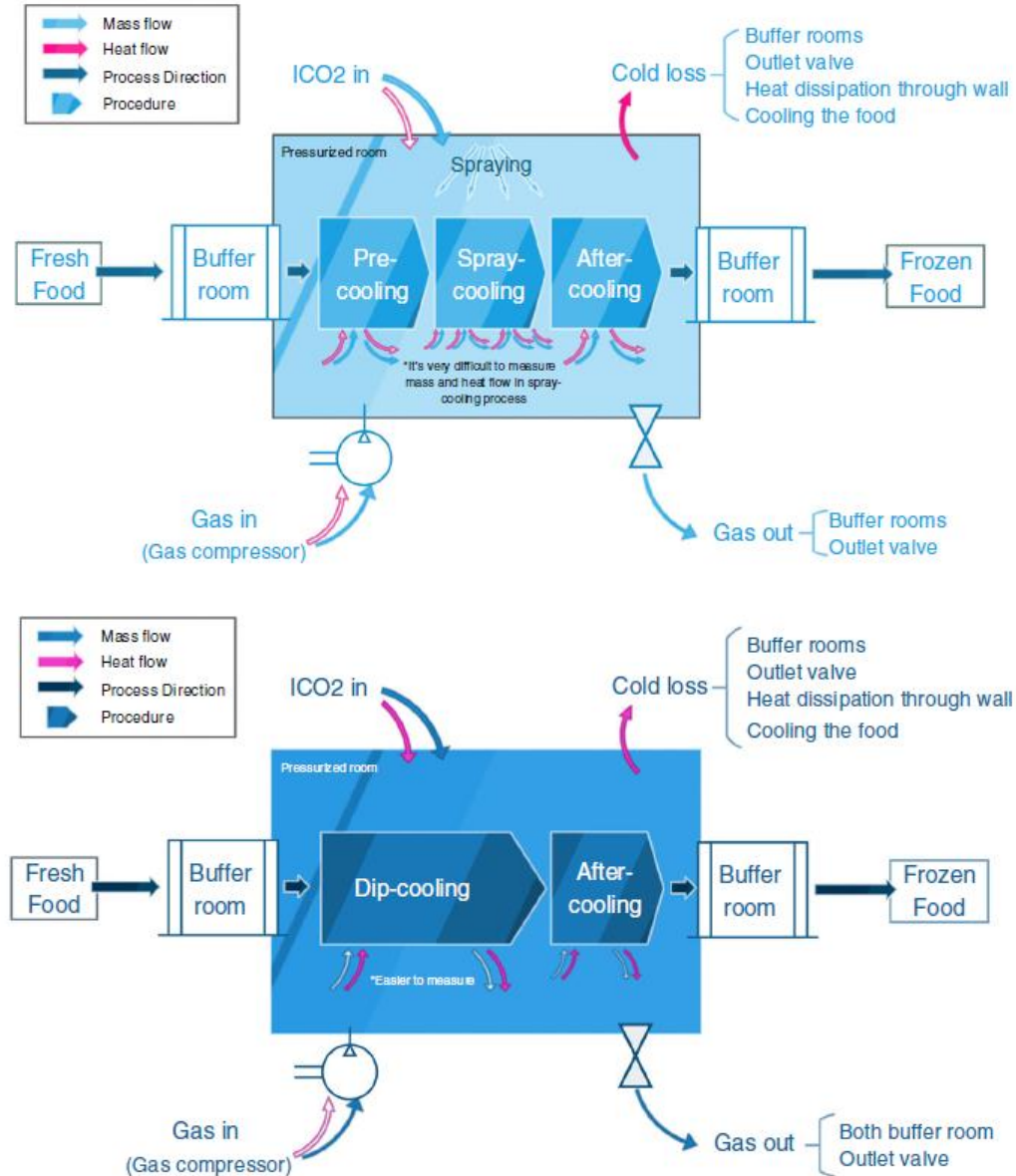
应用例：福建某食品加工企业@CO₂冷热联供热泵机组 热水（83度）和冷量（0度）



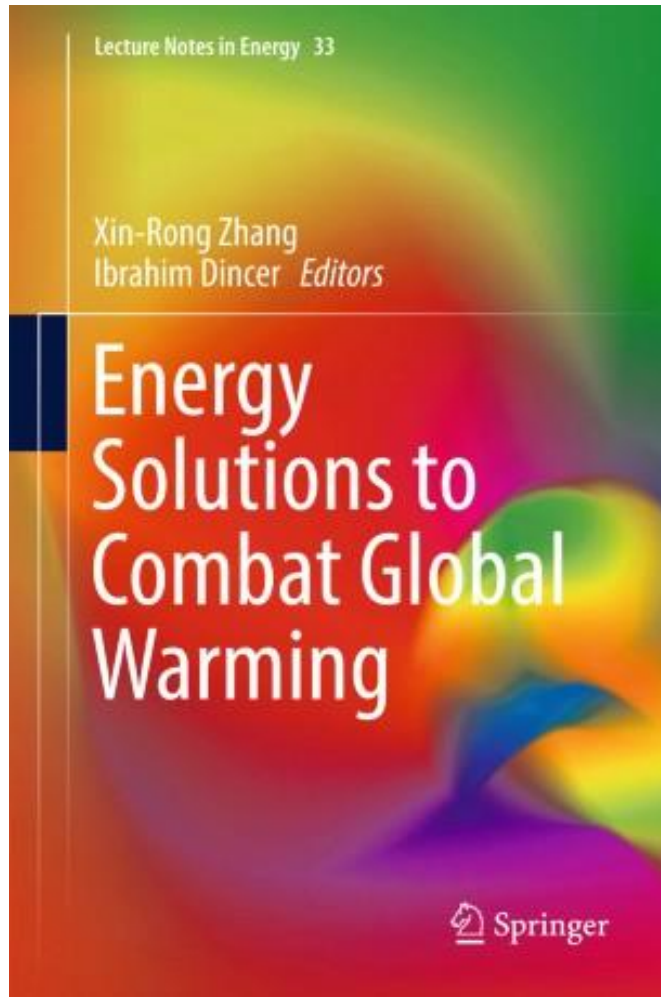
冷链速冻中二氧化碳灭活新冠病毒



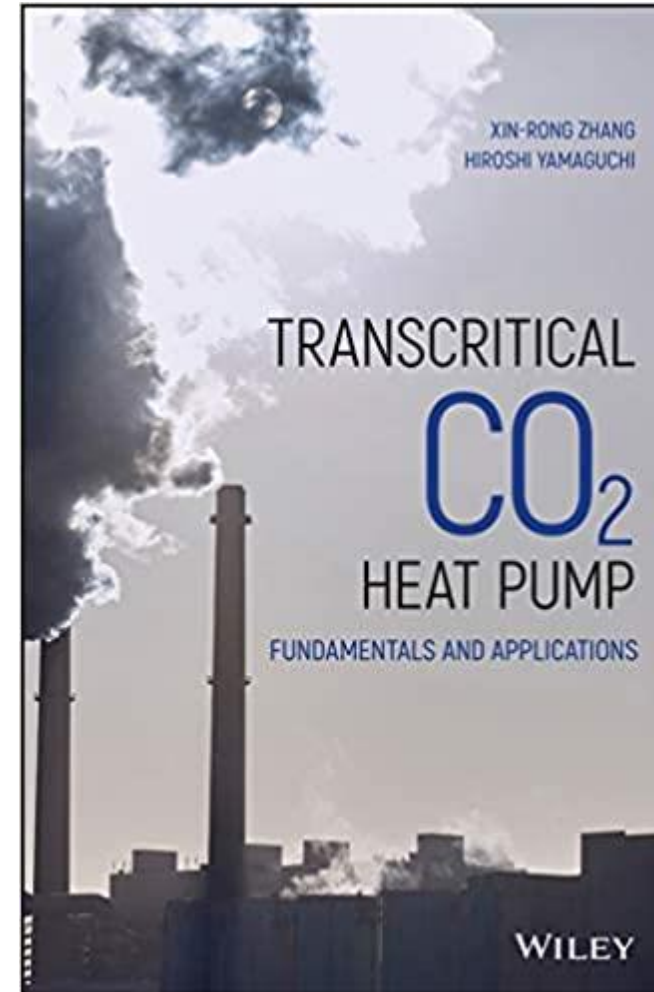
北京大学
PEKING UNIVERSITY



Zhang X R. COVID - 19 transmission in cold chain: A safe and green new - generation cold chain is demanded, Perspective Article, IJER, 2020.

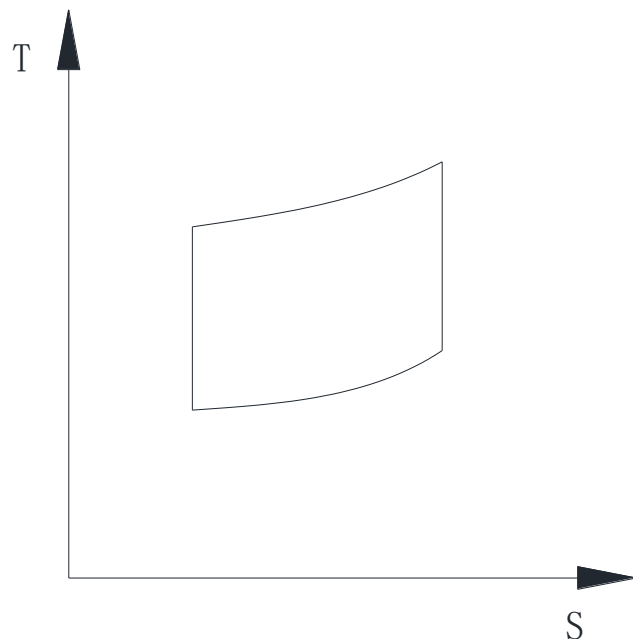


2016.08



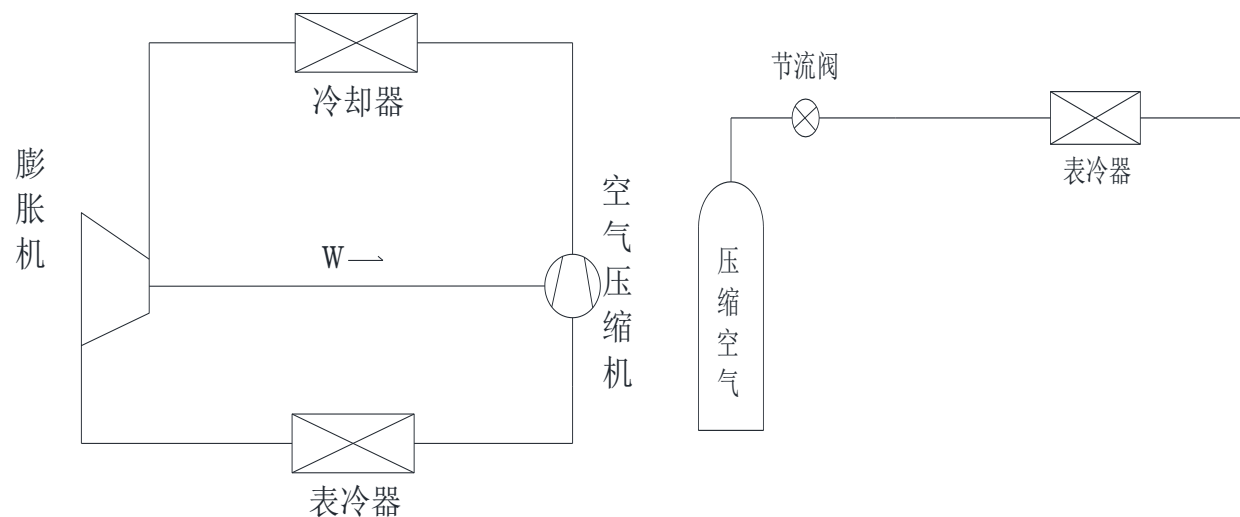
2021.02

制冷剂自然化——空气压缩制冷

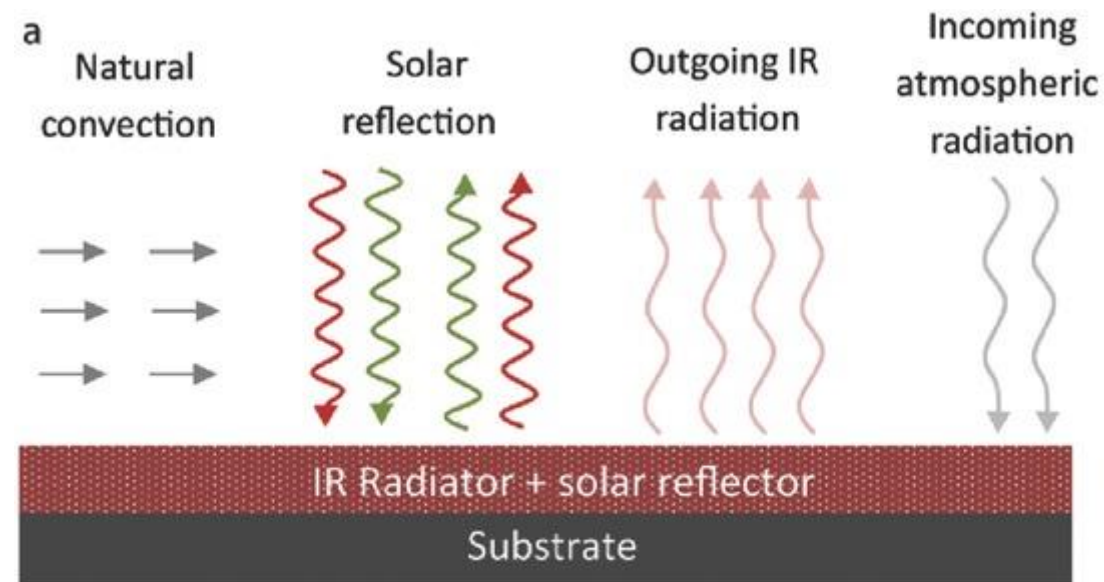
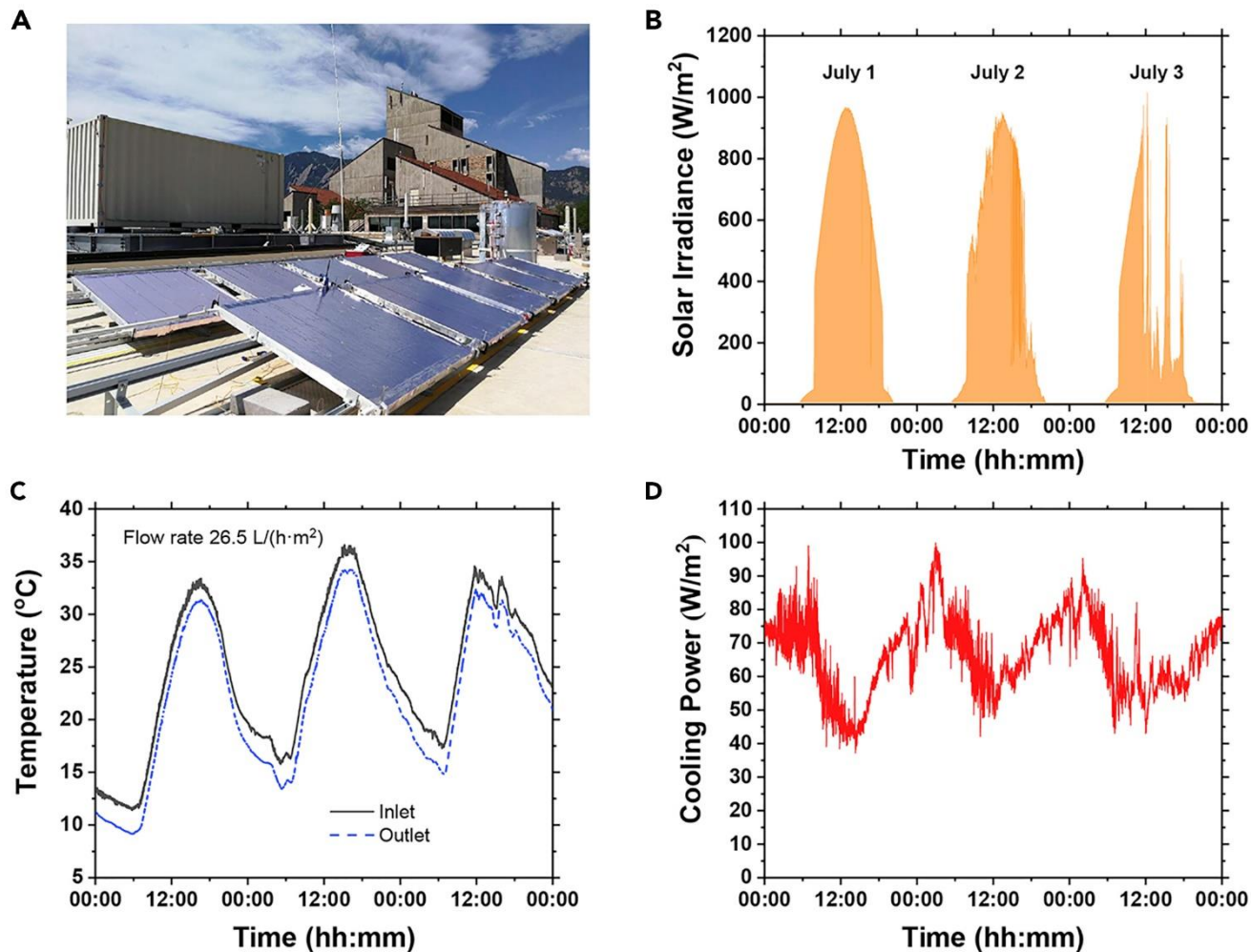


理想空气压缩循环，
两个定压放热过程和
两个等熵过程

压缩空气制冷系统流程图



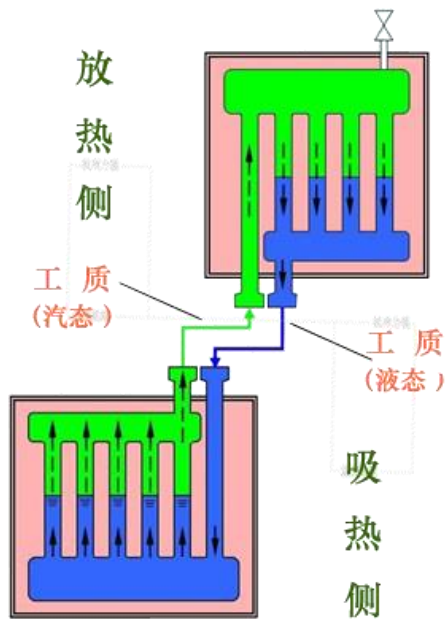
冷源天然化——辐射制冷技术



Hossain M M , Gu M . Radiative Cooling: Principles, Progress, and Potentials[J]. Advanced Science, 2016, 3(7):n/a-n/a.

由于地表温度低，辐射制冷主要依靠**红外辐射**透
过大气窗口向宇宙传递能量使物体表面获得降温
的能力，不需要任何外界能量驱动。

冷源自然化——自然冷却技术

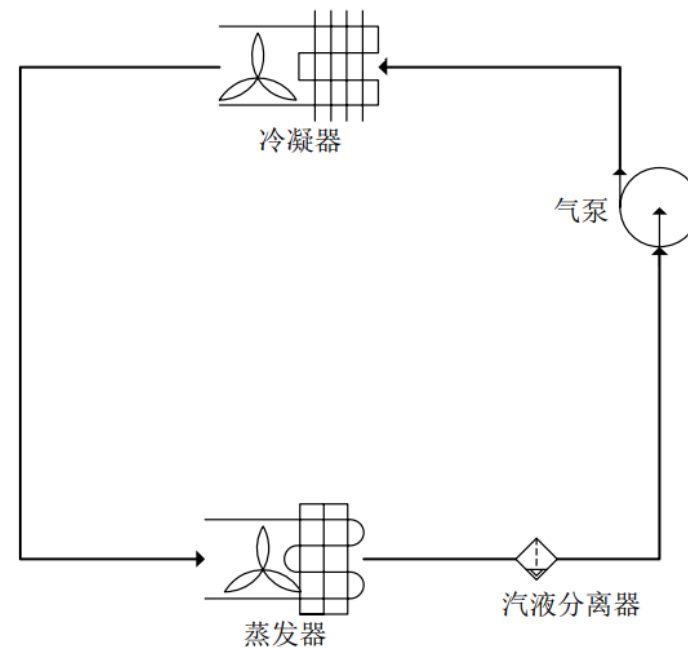
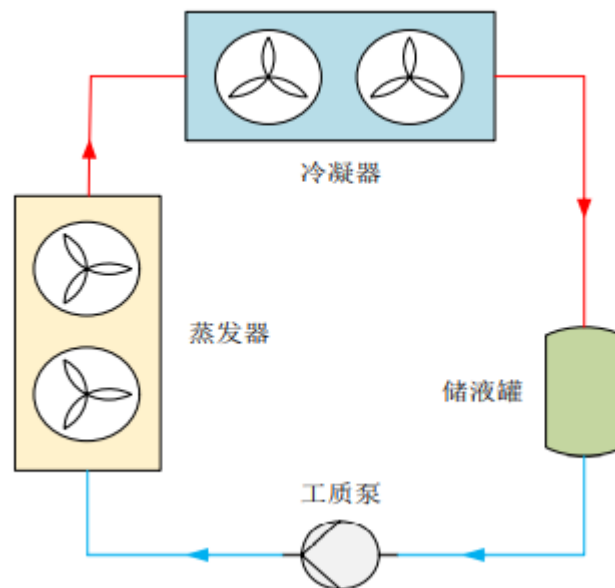


重力热管回路

在重力作用下实现自然循环和回流。

液泵驱动回路

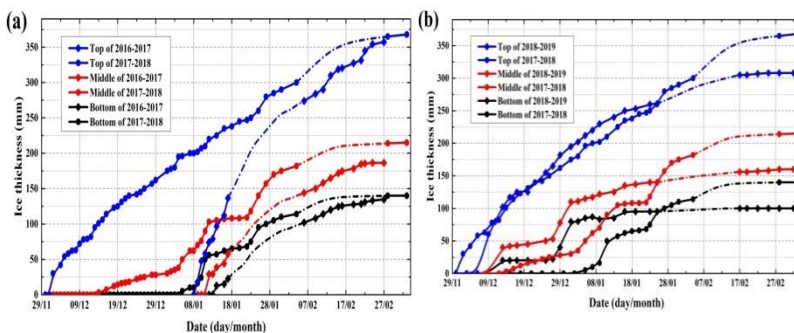
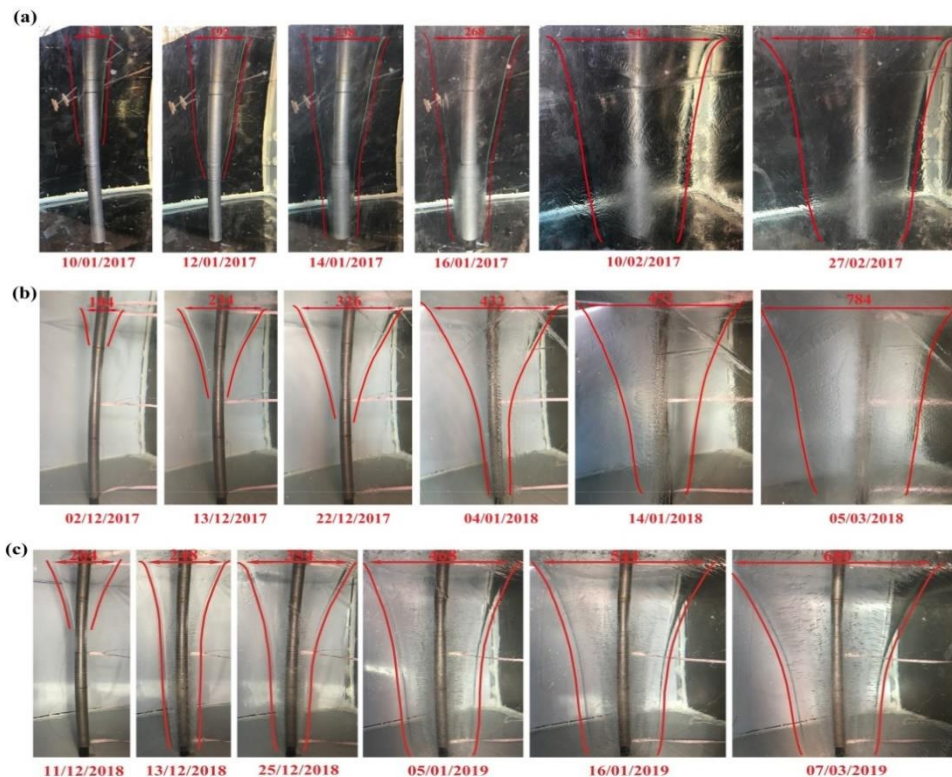
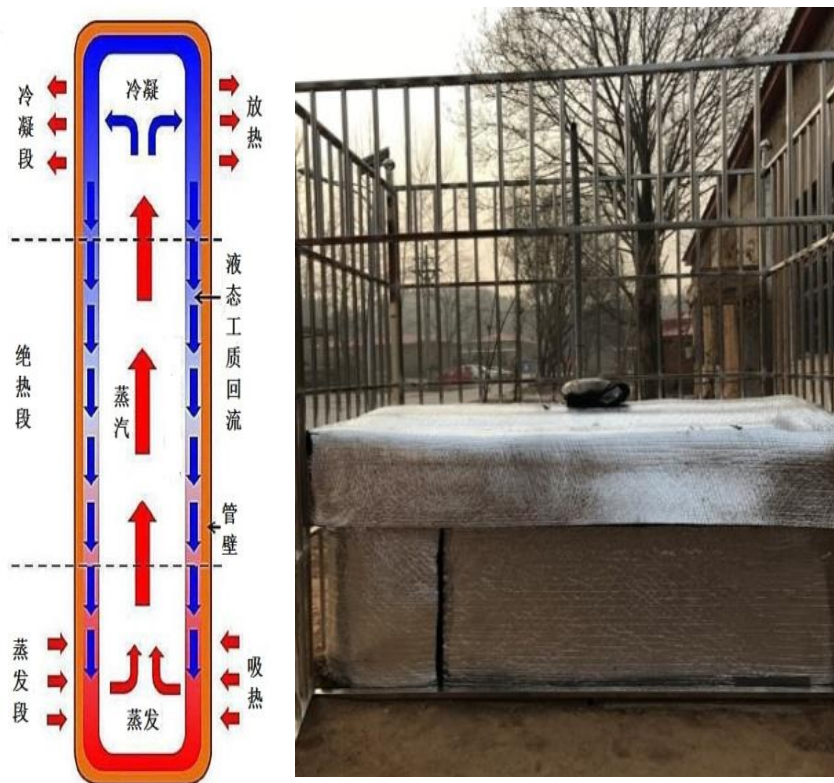
由液泵为工质循环提供驱动力，克服了重力热管对安装空间的要求。



气泵驱动回路

气泵作用在冷凝侧，增大了冷凝温差强化了冷凝效果，性能更加优越。

天然工质天然冷源蓄冷技术与装备



三个跨年度的可视化实验获得了**结、融冰的生长及温度变化规律**；得了**13.31 kWh、14.42 kWh、13.85 kWh**的潜能。**变物性工质**研究优化，实现跨季节天然能源的利用。

冷源自然化——蒸发冷却技术

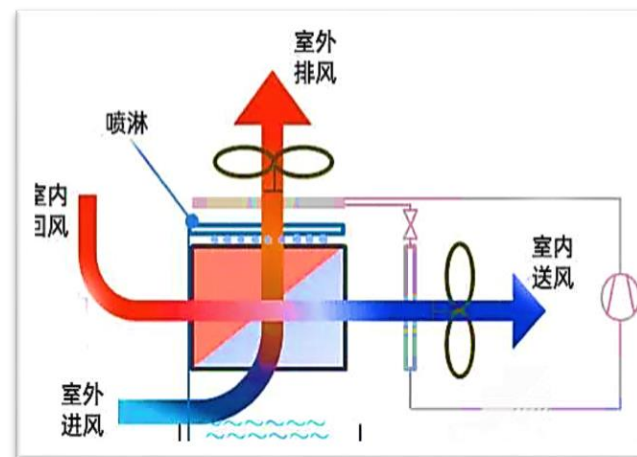
蒸发冷却空调



直接喷雾降温
冷却



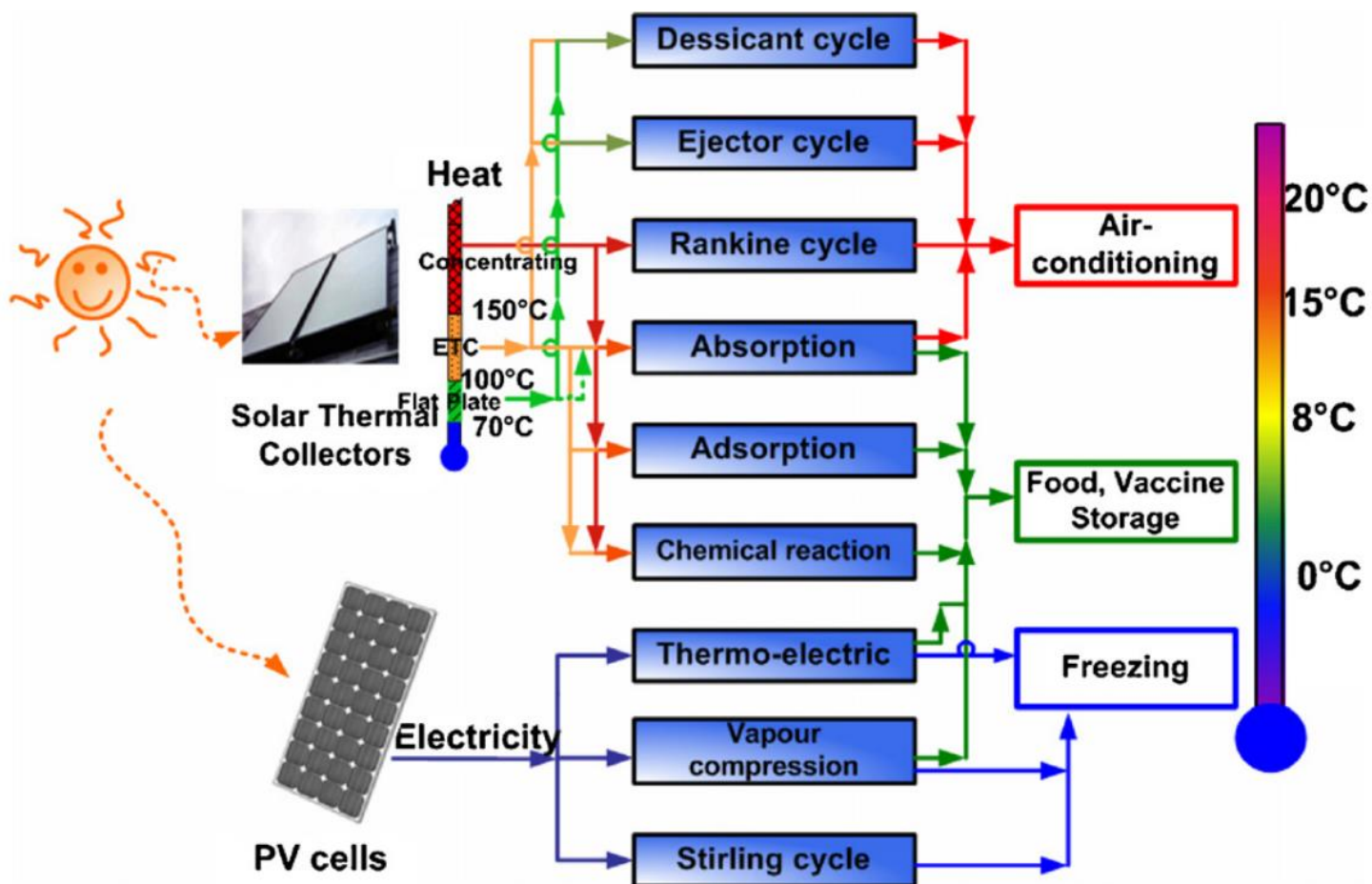
蒸发式冷气机



间接式蒸发冷
却送风

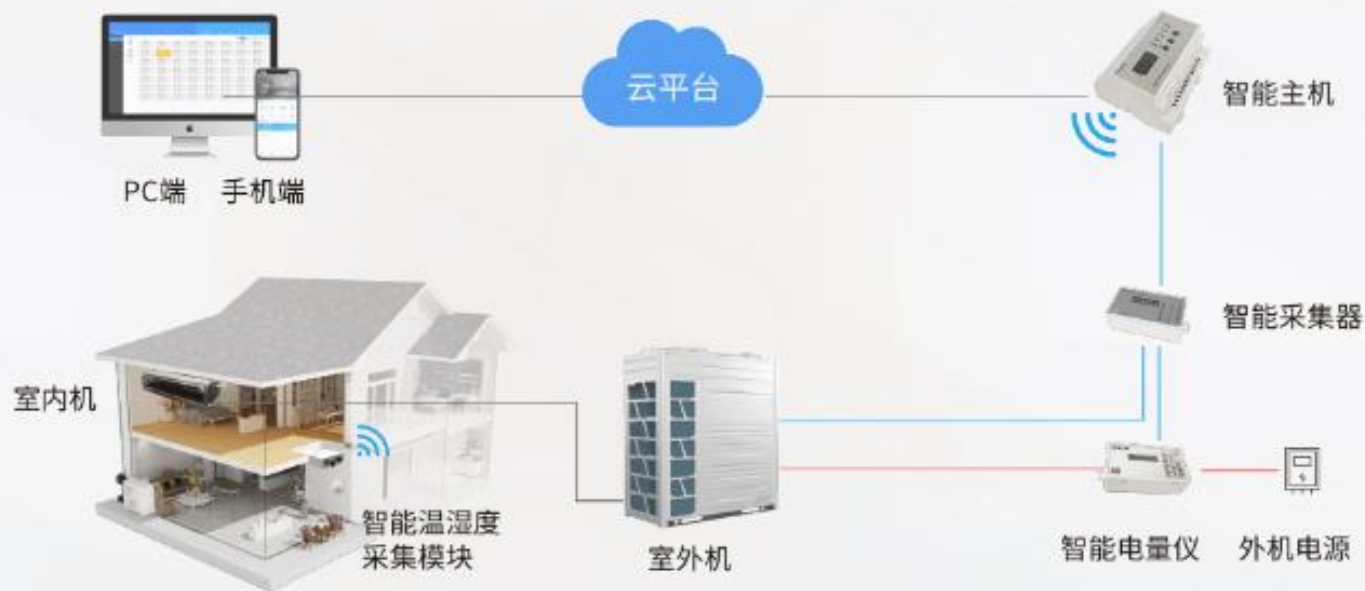
用能可再生化——太阳能制冷

以太阳能为驱动源为整个热泵系统输入功或高温热。包括太阳能**光热制冷**、太阳能**热电制冷**、太阳能**机械制冷**、太阳能**光化学制冷**。



智慧化——物联网技术

智能控制节能系统



01

物联网温湿度传输技术

利用物联网技术将内采集到的温度、湿度数值传输到云端

02

耗材更换智能检测技术

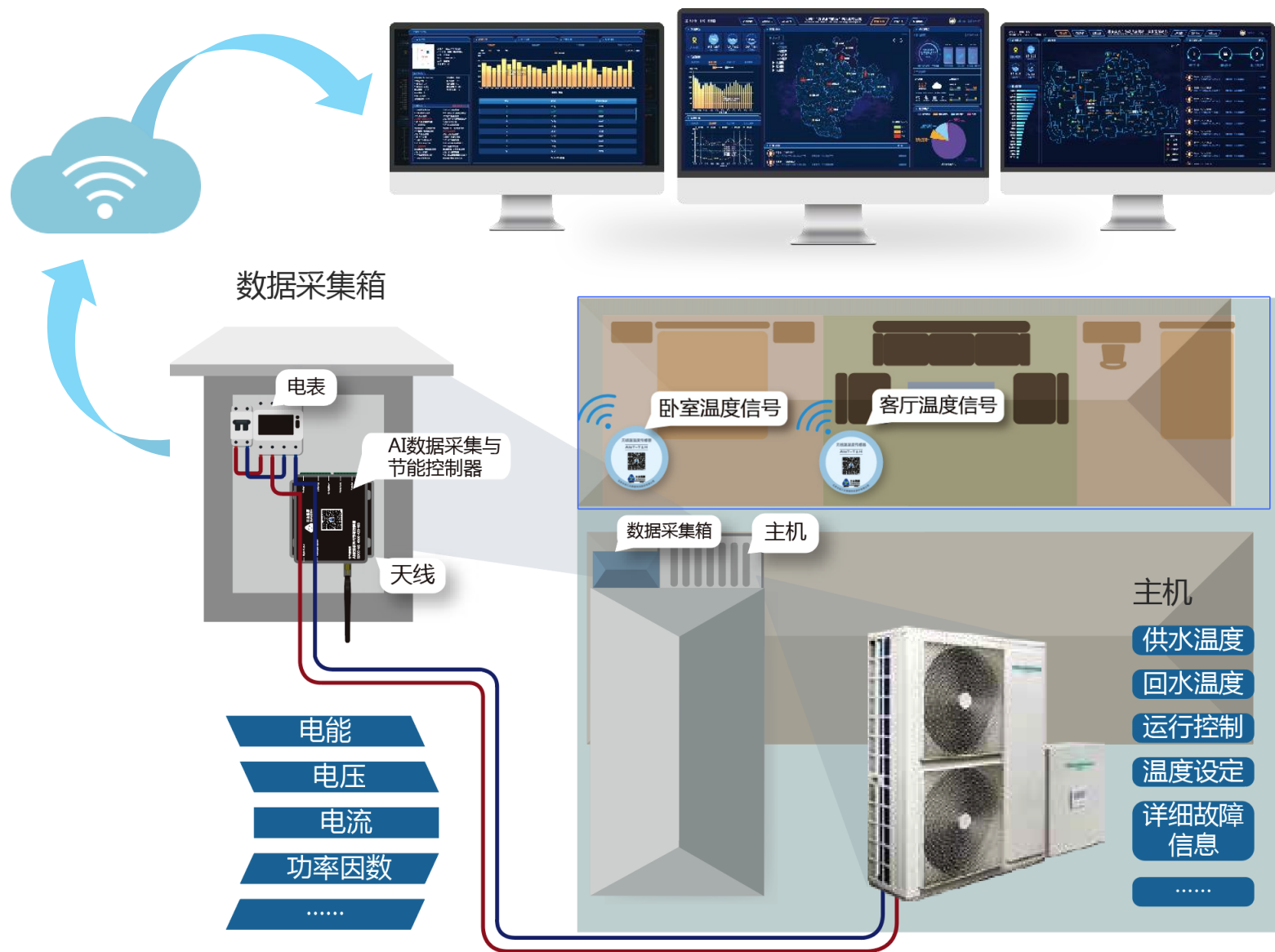
根据温度值和湿度值，智能调节温度，既满足工艺需求，又能达到节能效果

03

物联网温湿度传输技术

根据用户需求设定自动开关机，无需手动开关机

智慧化——AI技术



北京市城市热管理工程技术研究中心



城市（区域）热管理是当今国际新兴前沿的研究领域。它从城市/区域整体的角度，系统地研究**冷热与区域能源供应、冷热与资源循环高效利用、冷热量转换与利用、热与环境**等关键科学与技术问题，以起到促进节能减排、低碳、环保等作用，实现可持续发展。

中心在以往长期的冷热能源转换利用和热管理的技術研究中，积累了深厚的低品质热量有效利用技术，长期围绕**高品质农产品深加工、天然工质冷热一体化、果蔬冷链物流保鲜、太阳能利用、蓄热、热管理集成**等关键技术，形成了具有自己特色的技术积累。在产业化方面，**低温干燥、压差预冷、功能性食品、无氟CO₂商/民用冷热一体化机组、冰浆预冷、废热回收再利用**工艺与装备技术等科研成果都已经实现了产业化应用，取得了良好的经济效益。

科研队伍

➤ 创建了**5个**高水平研发机构，服务于前沿基础性研究及国家重大战略

（北京市热管理工程技术研究中心、北京大学新型能源系统研究中心等）

➤ **60余名**高水平的研究人员

➤ AFM原子力显微镜、粒子成像流场测量、三维激光测速、多普勒粒子测量仪、气相色谱质谱联用仪、大型计算中心等仪器设备**257套**

➤ 依托**湍流与复杂系统国家重点实验室**等

中心主任 张信荣

• 北京大学新型能源系统研究中心主任

• 2014-2019Elsevier能源领域高被引学者

• 十三五国家重点研发计划负责人

• 北京2022科技冬奥行动人工造雪项目负责人

• 北京能源学会会长



低成本、低资源消耗、绿色环保、高内核附加值

高品质高附加值———冷热一体化———科技冬奥

自主创新+系统化解决方案



谢谢大家!

xrzhang@pku.edu.cn



北京大学
PEKING UNIVERSITY