



绿色高效制冷技术创新对实现碳中和的贡献和路径

邢子文

2021-9-16



内容提要

CONTENTS

一、引言

二、绿色高效制冷产品研发

三、碳中和制冷技术发展方向

四、总结与展望

一、引言

■ 绿色高效制冷行动方案 (发改环资[2019]1054号) :

- 重大意义：年产值达8000亿元，全社会用电量15%以上；年均增速近20%
- 主要目标：到2030年，制冷总体能效提升20%以上
- 主要任务：强化标准引领；提升绿色高效制冷产品供给；促进绿色高效制冷消费；推进节能改造；深化国际合作
- 提升绿色高效制冷产品供给：
 - ✓ 加大对变频控制、高效压缩机、紧凑轻量化高效传热...等关键共性技术研发；
 - ✓ 鼓励生产企业为工商用户提供按需定制、精准适配的绿色高效制冷系统。

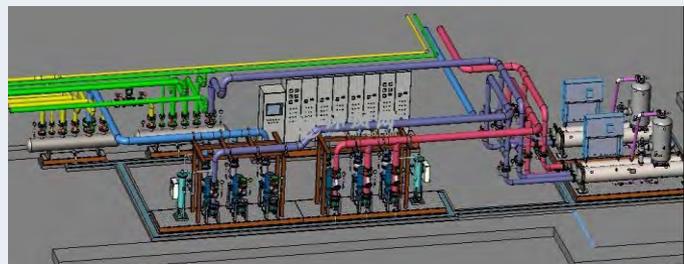
■ 节能潜力:



压缩机等关键部件：10%?



冷热源机组：20%?



制冷系统(机组+输配+末端)：30-50%?

一、引言

■ 碳中和：2030年前，CO₂排放达到峰值；2060年前，实现碳中和

➤ 电力生产侧：

- ✓ 大力发展可再生能源：光电、风电、水电、生物质发电、绿色氢能
- ✓ 安全高效发展核电，控制和减少煤电

➤ 能源消费侧：调整产业与能源结构，节能优先

- ✓ 工业：节能减排（冶金、化工、建材、矿山、食品）
- ✓ 建筑：低碳建筑（超低能耗、净零能耗）
- ✓ 交通：新能源车热管理（电动、氢燃料）

➤ 储能：

- ✓ 电化学储能（动力电池）：安全、成本
- ✓ 绿色氢能：制备、液化、储运、利用
- ✓ 其它储能：压缩空气储能、蓄热、蓄冷

➤ 碳汇：

- ✓ 自然碳汇（森林、海洋、土壤）
- ✓ CCS、CCUS



■ 制冷技术广泛应用于碳中和相关领域，绿色高效更加重要



一、引言

■ 绿色高效制冷行动方案的实施，研发出大量绿色高效制冷产品，对碳中和贡献显著：

- 绿色高效压缩机
- 绿色高效冷热源机组
- 绿色高效制冷系统

■ 实现碳中和对制冷技术提出了新的需求和更高要求，未来技术发展方向：

- 环保制冷剂应用
- 压缩机等关键部件
- 直流驱动制冷系统
- 高温工业热泵
- 氢液化系统
- CCUS装置制冷系统



二、绿色高效制冷产品研发

■ 绿色高效制冷技术创新对实现碳中和目标贡献显著：

➤ 绿色高效压缩机：

- ✓ 新型环保R32高效压缩机
- ✓ 三缸双级变容积比滚动转子式压缩机
- ✓ 变频变内压比双螺杆压缩机

➤ 绿色高效冷热源机组

- ✓ 智慧高效柔性连续冻结线

➤ 绿色高效制冷系统

- ✓ 宽温区高效制冷供热耦合集成系统
- ✓ NH₃/CO₂螺杆复合制冷系统
- ✓ 冬奥会国家速滑馆大型跨临界CO₂制冷系统

二、绿色高效制冷产品研发

➤ 绿色高效压缩机

✓ 新型环保R32高效压缩机

- ① 变频驱动、排温控制
- ② 摩擦磨损研究
- ③ 效率高、成本低

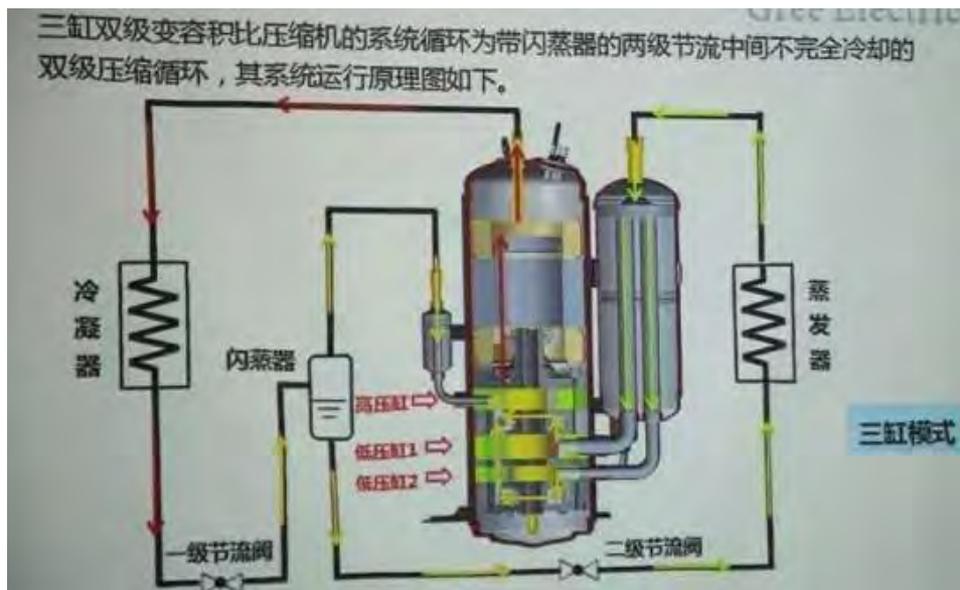


二、绿色高效制冷产品研发

➤ 绿色高效压缩机

✓ 三缸双级变容积比滚动转子式压缩机

- ① 双级压缩、级间补气
- ② 工作缸数选择、双级容积比控制
- ③ -35°C 超低温制热、 60°C 高出水温度

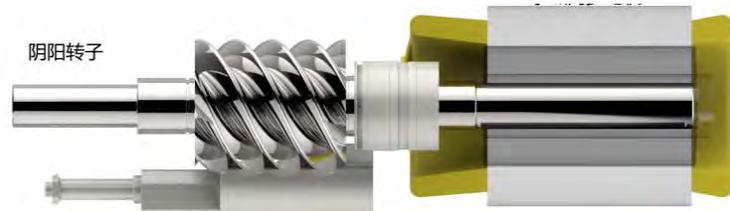
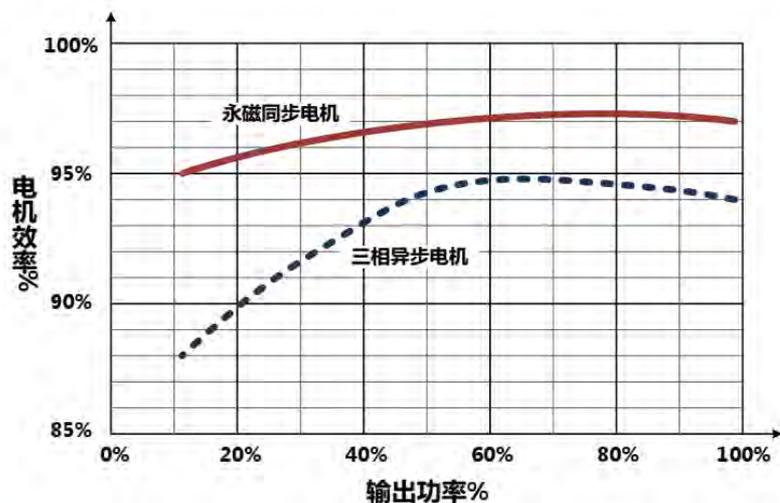


二、绿色高效制冷产品研发

➤ 绿色高效压缩机

✓ 变频可变内压比双螺杆压缩机

- ① 变频调节容量、滑阀调节内压比
- ② 容量、内压比各自独立调节
- ③ 运行调节适应性强

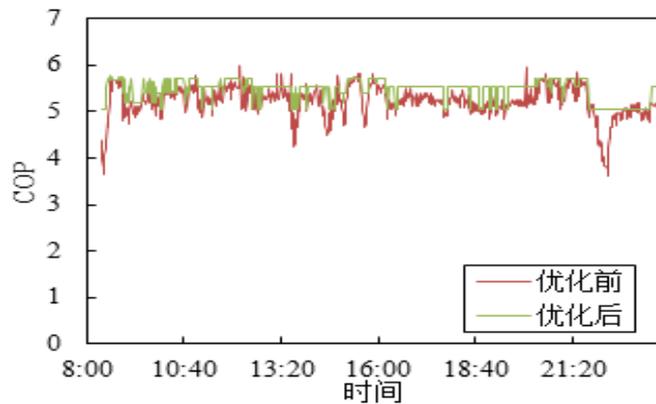


二、绿色高效制冷产品研发

➤ 绿色高效冷热源机组

✓ 智慧高效柔性连续冻结线

- ① 大数据采集与筛选
- ② 智能节能运行控制
- ③ 故障预警、诊断

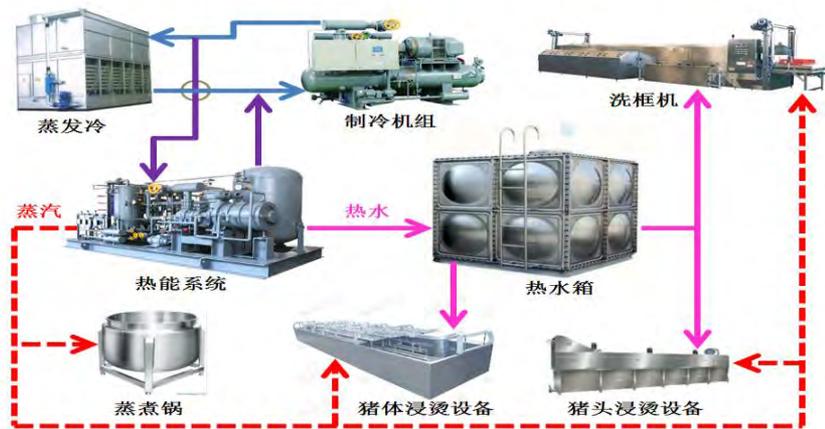
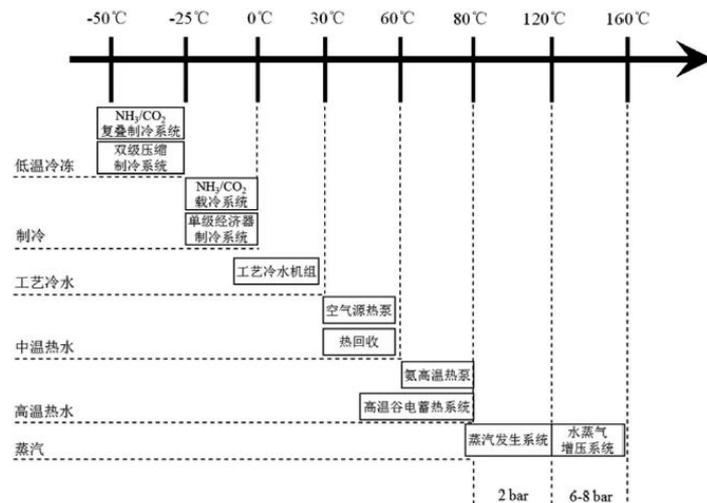


二、绿色高效制冷产品研发

➤ 绿色高效制冷系统

✓ 宽温区高效制冷供热耦合集成系统

- ① 制冷、制热、蓄热
- ② 模块化系统集成
- ③ 冷热负荷匹配



生猪屠宰用冷热联供系统



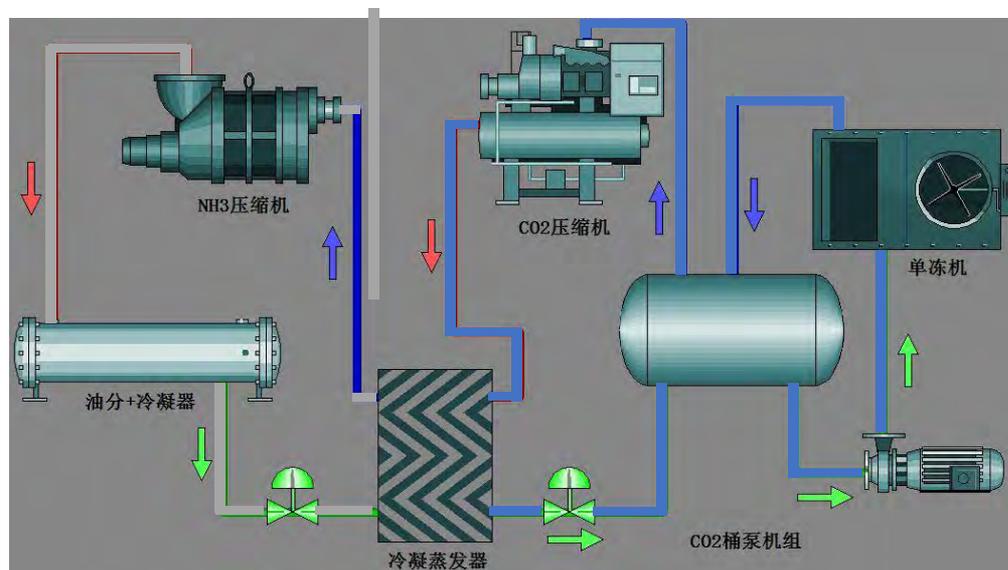
啤酒酿造用冷热联供系统

二、绿色高效制冷产品研发

➤ 绿色高效制冷系统

✓ NH₃/CO₂螺杆复合制冷系统

- ① 多个型号的CO₂专用压缩机
- ② 复叠、载冷两种系统
- ③ 低充注量撬装模块设计

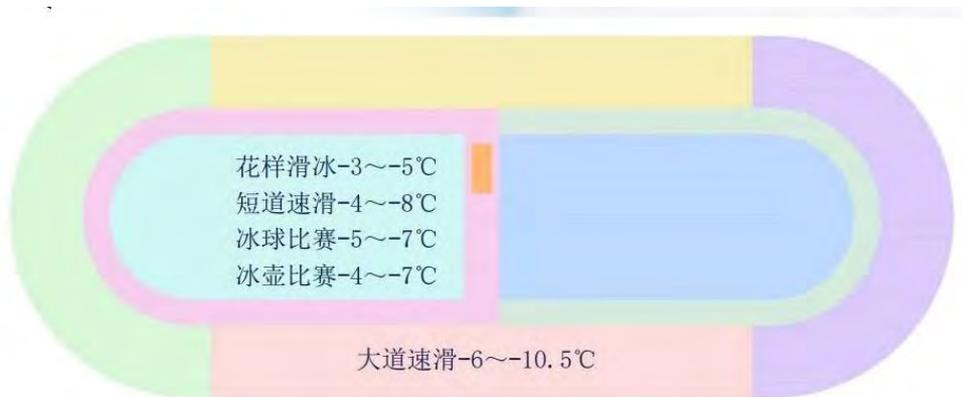


二、绿色高效制冷产品研发

➤ 绿色高效制冷系统

✓ 冬奥会国家速滑馆大型跨临界CO₂制冷系统

- ① 冰面：跨临界CO₂直接蒸发制冷，较传统技术能效提升20%以上
- ② 全部余热可实现回收再利用
- ③ 多个模块化跨临界CO₂机组并联运行





三、碳中和制冷技术发展方向

■ 实现碳中和对制冷技术提出了新的需求和更高要求，未来技术发展方向：

- 环保制冷剂应用
 - ✓ 自然制冷剂、合成制冷剂
 - ✓ 基于制冷剂的关键部件与机组
 - ✓ 空气制冷机
- 压缩机等关键部件
 - ✓ 磁浮、动压气浮离心机
 - ✓ 两级压缩、双电机两级压缩、小压比
- 直流驱动制冷系统
- 高温工业热泵
 - ✓ 兆瓦级跨临界CO₂冷热联供装置
 - ✓ 水蒸气压缩机
 - ✓ 氢气生产与利用中热回收
- 大规模氢液化系统
- CCUS装置制冷系统

三、碳中和制冷技术发展方向

➤ 环保制冷剂应用

- ✓ 自然制冷剂：NH₃、CO₂、R290、R600a、R718
- ✓ 合成制冷剂：R1234yf、R1234ze、R1233zd(E)、...?
- ✓ 基于制冷剂研发专用关键部件及机组：压缩机、换热器、膨胀阀

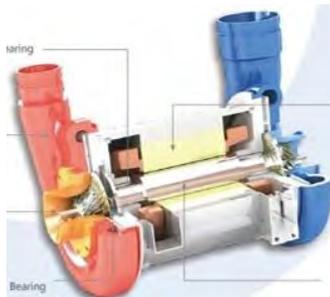


三、碳中和制冷技术发展方向

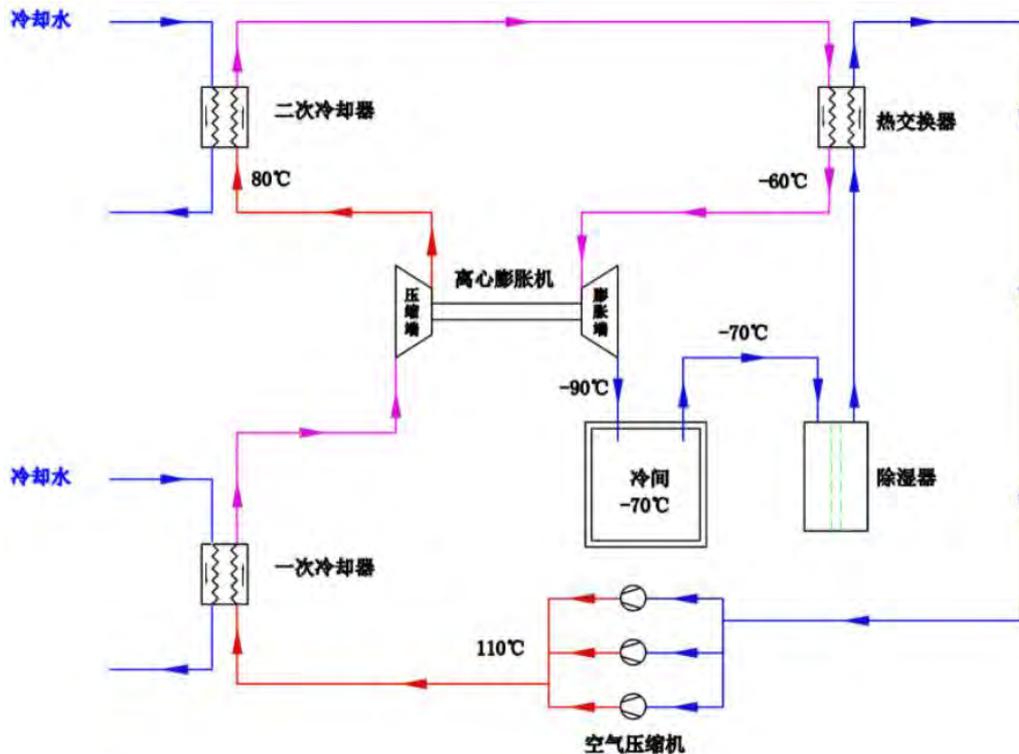
➤ 环保制冷剂应用

✓ 空气制冷机

- ① 压缩空气膨胀制冷， -60°C 与传统系统性能相当？
- ② 用于低温储运、生物医药、石油化工、冷冻干燥、血液/器官保存等领域



新一代高速气浮离心压缩-膨胀机



三、碳中和制冷技术发展方向

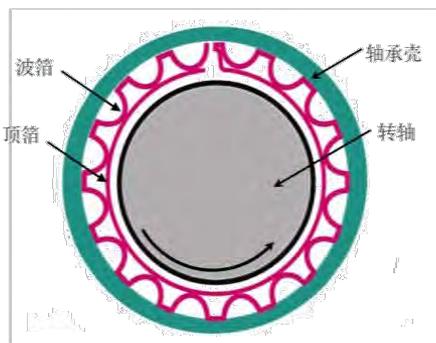
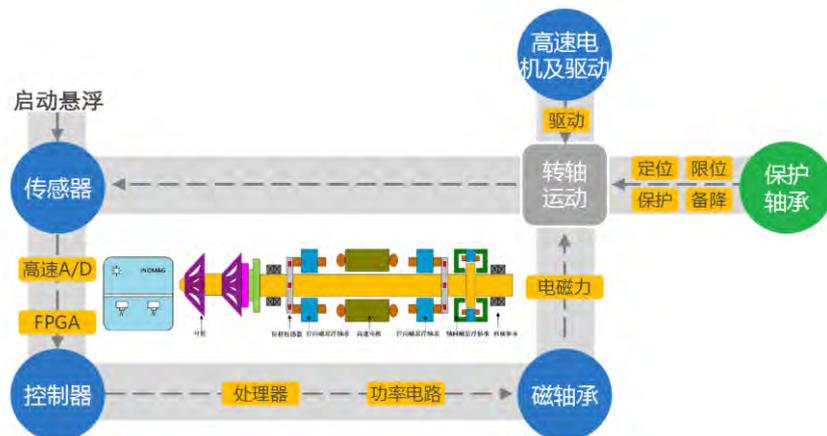
➤ 压缩机等关键部件

✓ 磁浮离心机

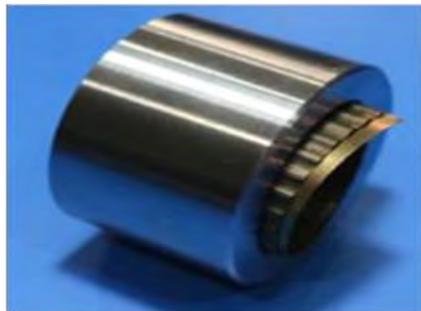
- ① 高速电机直联驱动
- ② 磁浮控制器、传感器、保护轴承等核心部件

✓ 动压气浮离心机

- ① 箔片材料及工艺
- ② 箔片受力及变形



气体轴承结构



径向箔片轴承



轴向箔片轴承

三、碳中和制冷技术发展方向

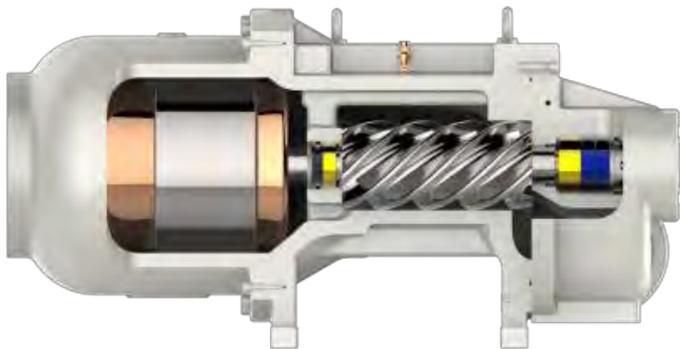
➤ 压缩机等关键部件

✓ 两级压缩

- ① 替代大压比单级压缩
- ② 替代压缩过程中补气的单级压缩

✓ 小压比

- ① 流动阻力小、无滑阀
- ② 利用自然冷能空调系统、数据中心冷却、设施农业、立体养殖



三、碳中和制冷技术发展方向

➤ 直流驱动制冷系统

- ① 中央空调、多联机、家用空调、冰箱、冰柜
- ② 冷库、冷藏车、....

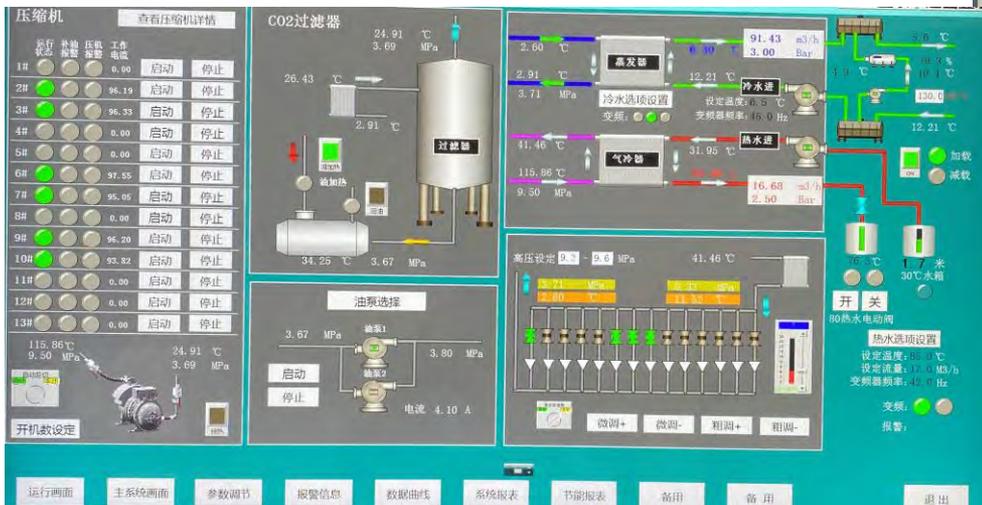


三、碳中和制冷技术发展方向

➤ 高温工业热泵

✓ 兆瓦级跨临界CO₂冷热联供装置

- ① 额定功率：784kW
- ② 名义制冷量：2000kW
- ③ 名义制热量：2800kW

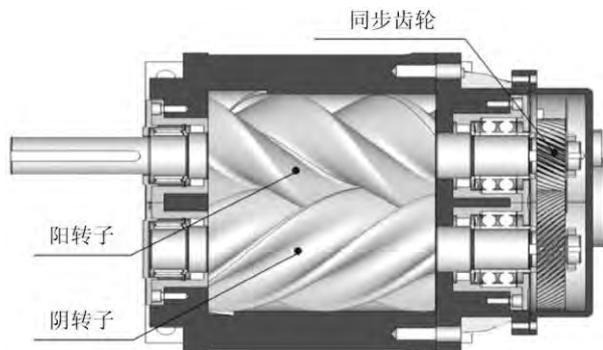


三、碳中和制冷技术发展方向

➤ 高温工业热泵

✓ 双螺杆水蒸气压缩机

- ① 水蒸气温度：100~400℃
- ② 水蒸气压力：0.1~3.5MPa



三、碳中和制冷技术发展方向

➤ 高温工业热泵

✓ 氢气生产与利用中热回收

- ① 电解水：AWE温度90°C，PEM温度60°C
- ② 燃料电池分布式能源系统：PEM温度80°C

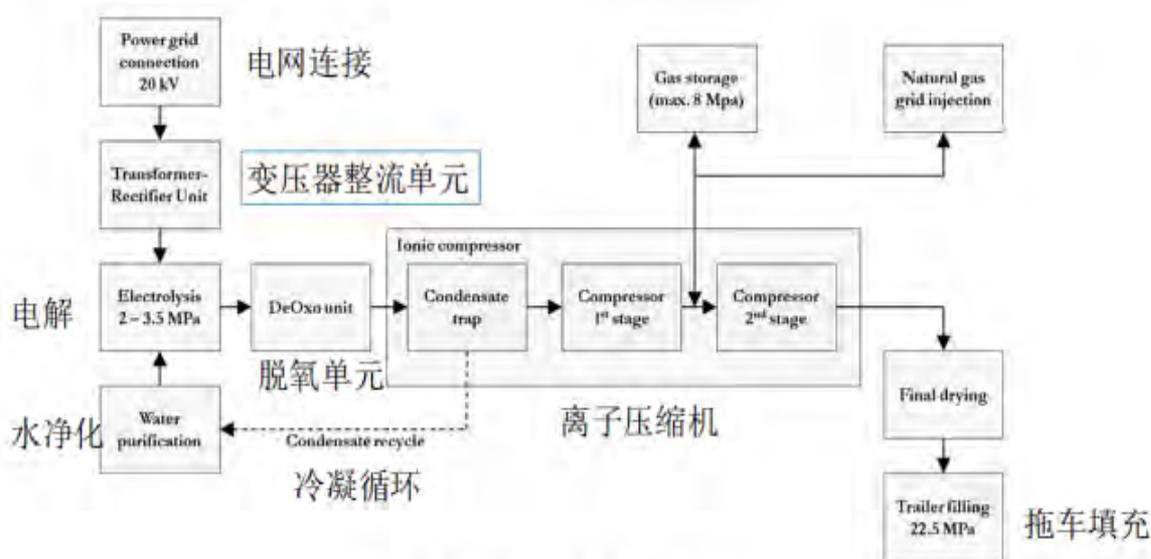


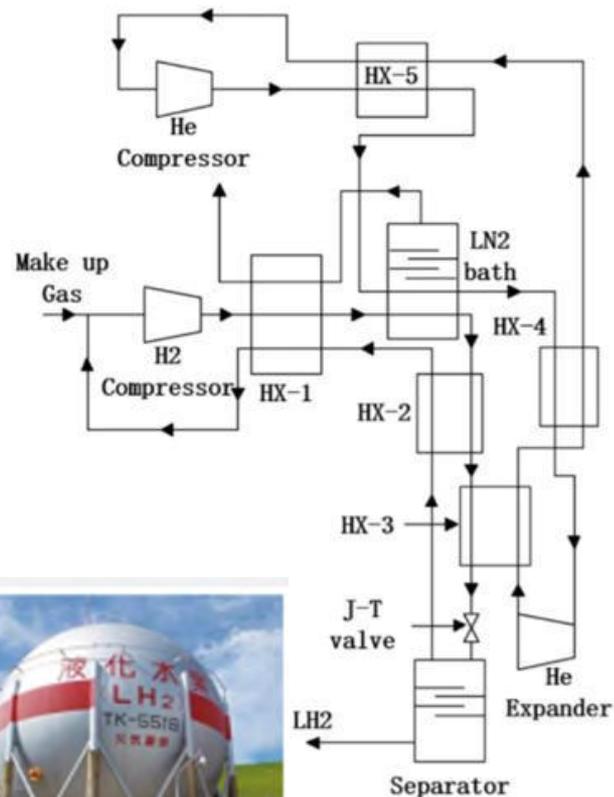
Fig. 1 – Block diagram of the PtG plant.



三、碳中和制冷技术发展方向

➤ 大规模氢液化系统

- ① 氦气制冷压缩机：双级，
0.1/0.4MPa； 0.4/2.0MPa
- ② 氢气增压压缩机： 双级，
0.1/0.8MPa； 0.8/2.6MPa



三、碳中和制冷技术发展方向

➤ CCUS装置制冷系统

- ① 燃煤电厂烟气中CO₂大规模捕集，15万吨/年
- ② CO₂ 增压机组：0.12MPa增至2.6MPa
- ③ CO₂液化制冷机组：蒸发温度-21℃；制冷量1113kW



四、总结与展望

- 在绿色高效制冷行动方案的实施推动下,已经研发出多项绿色高效压缩机、冷热源机组和制冷系统,对实现碳中和目标具有显著的作用和贡献。
- 实现碳中和对制冷技术提出了新的需求和更高要求,未来技术发展方向:
 1. 环保制冷剂应用将进一步扩大,基于特定制冷剂,研发新一代压缩机等关键部件与制冷系统将成为必然趋势;
 2. 伴随设计理论深化、加工工艺改进和其它学科技术进步等,压缩机等关键部件与制冷系统的能效将持续提升;
 3. 随着光伏、风电等可再生能源的推广,直流驱动的各类制冷系统前景广阔;
 4. 在工业领域节能减排背景下,水蒸气压缩机、冷热综合利用等高温工业热泵的应用将不断增加;
 5. 碳中和目标下,氢能具有重要的地位与作用,氢气生产、储运、利用等环节中,氢气压缩机及其制冷系统等多种设备有待研发或改进;
 6. 二氧化碳捕集、封存、利用装置中,也涉及多种压缩机及其制冷系统,工艺参数匹配和系统集成设计等需要进一步优化。



谢谢!