

磁悬浮高速变频驱动及其在制冷行业的应用

天津飞旋科技股份有限公司

副总工程师 魏庆

2024年4月



磁悬浮高速变频直驱系统简介



磁悬浮高速变频驱动的关键技术



磁悬浮高速变频驱动在制冷行业的应用



飞旋科技制冷行业磁悬浮高速变频驱动解决方案

磁悬浮高速变频直驱系统采用磁悬浮轴承作为支撑，高速永磁电机与负载或原动机直接相连，取消中间升减速机械传动机构，同时采用变频器来调速的机电一体化系统。

概念



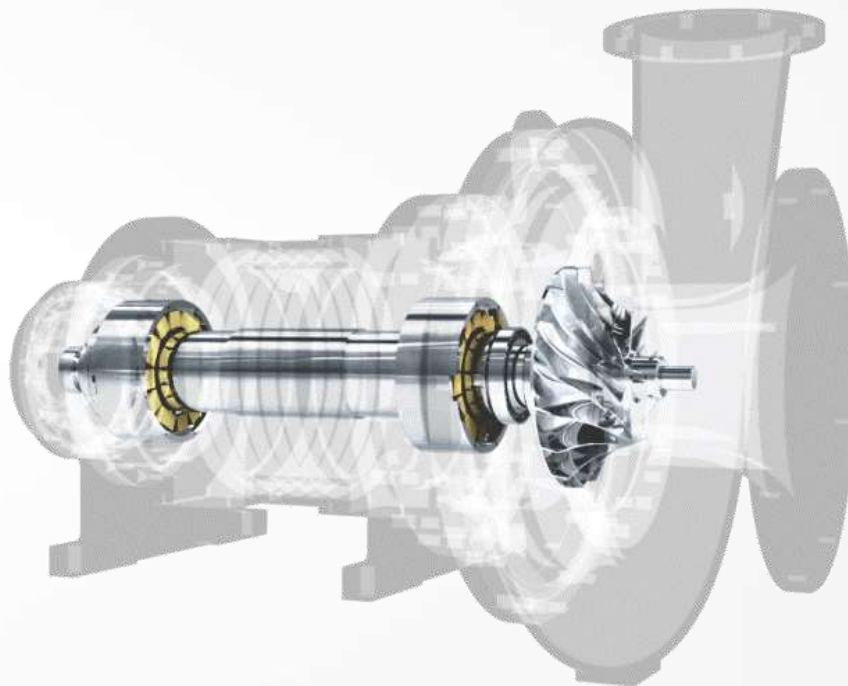
无需齿轮箱



无需润滑油



无需机械轴承



直驱负载的传动结构完美的解决了机械轴承、齿轮箱、润滑油系统所带来的问题，而且使结构更加紧凑，体积更小，效率更高。

优势

效率高

体积小

噪音低

响应快



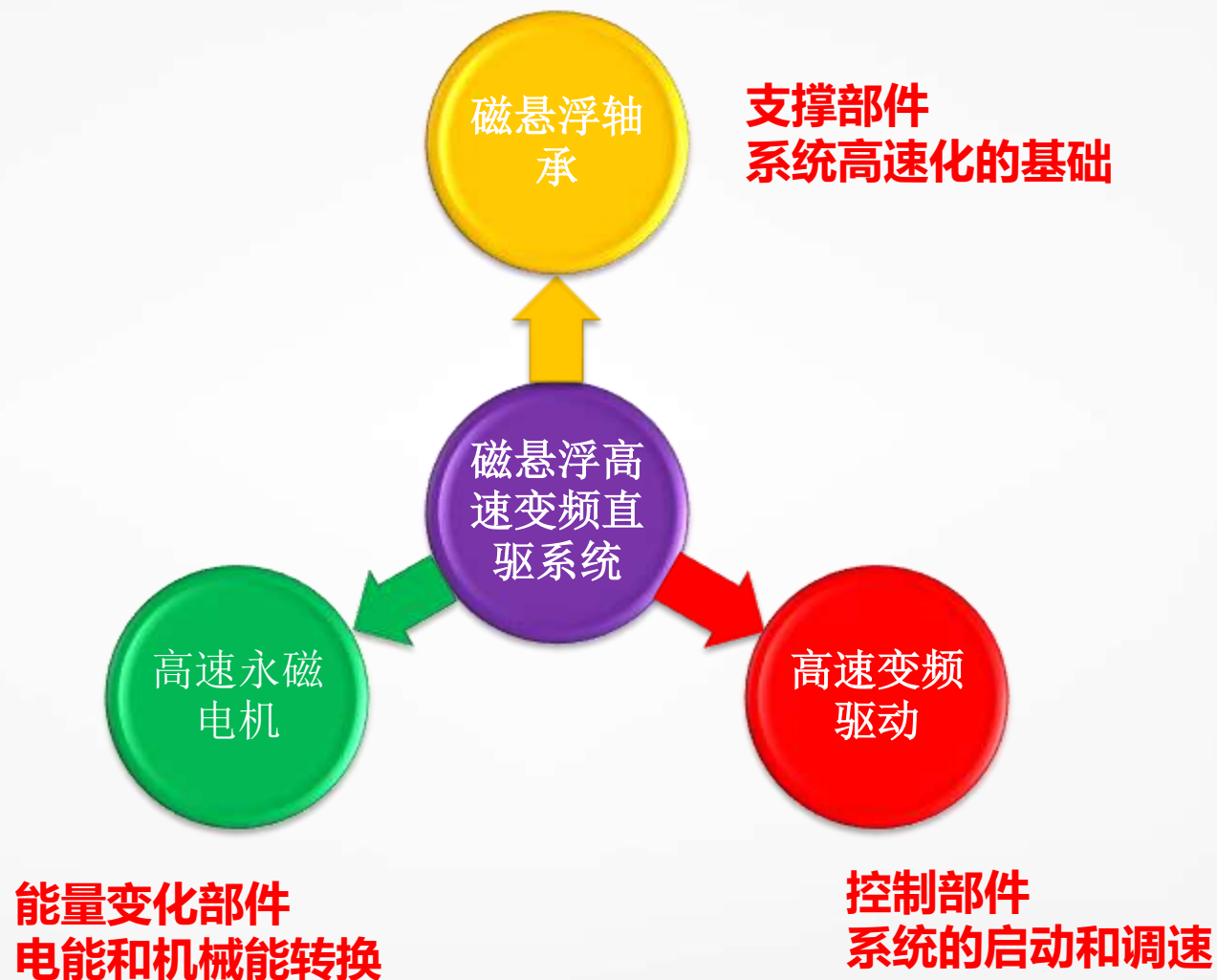
智能化

少维护量

无润滑油

磁悬浮高速电机系统包含磁悬浮轴承、高速永磁电机、高速变频驱动器三个核心元件

组成



支持无位置传感器矢量
控制

稳定驱动高速电机

对磁悬浮高速变频驱动的要求

为轴承提供安全电源

减少电机定转子温升



无传感器矢量控制算法：

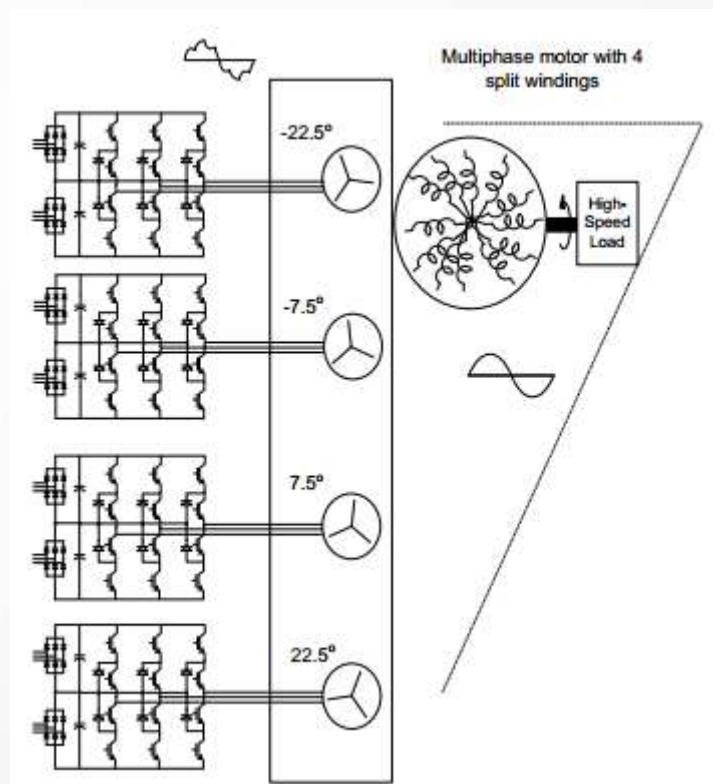
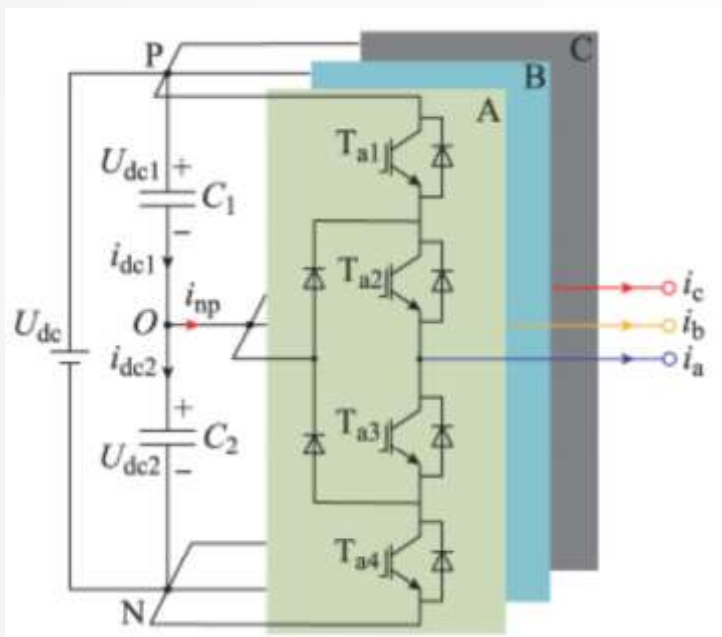
- 无传感器控制算法必须具备对参数变化适应能力
 - ✓ 无传感器算法本身具备一定参数自适应能力，鲁棒性好
 - ✓ 通过在线辨识参数，一般对定子电阻进行辨识
- 控制器参数设计必须兼顾稳定性和快速性，并具有较好抗扰动能力

可靠性问题：

- 增强变频器自身电路的防EMC措施
- 通过加强屏蔽、采用滤波器等手段，减少EMI干扰
- 驱动电路、开关电源电路等，针对高温、高损耗功耗进行相应的优化改进
- 控制策略上必须具备系统掉电反发电功能
- 针对真空等特殊无阻尼工况，通过控制算法引入阻尼，确保稳定启动

谐波电流抑制的解决方案:

- 精确死区补偿，窄脉冲抑制，减小电压畸变。
- 输出侧增加LC滤波器
- 新的拓扑结构：三电平技术、多相电机变频器，H桥级联

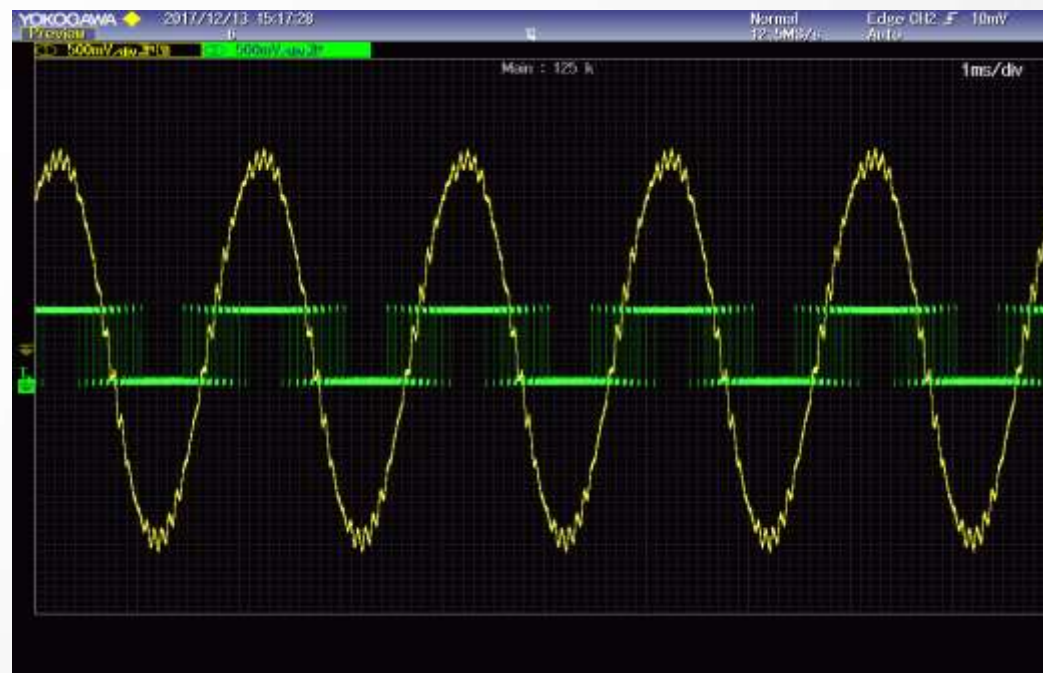


降低开关损耗的解决方案:

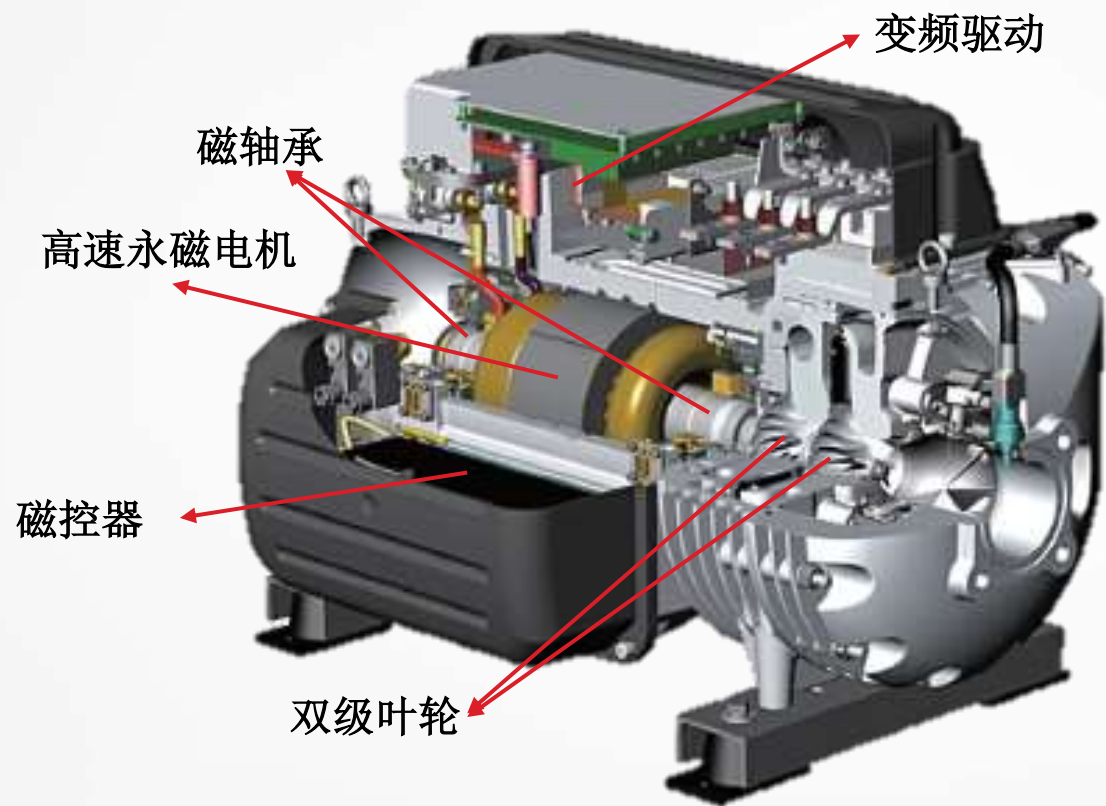
- 改进驱动电路、优化开关过程
- 新一代功率器件
- DPWM技术、优化PWM技术等

高效散热设计:

- 热管技术
- 相变冷却

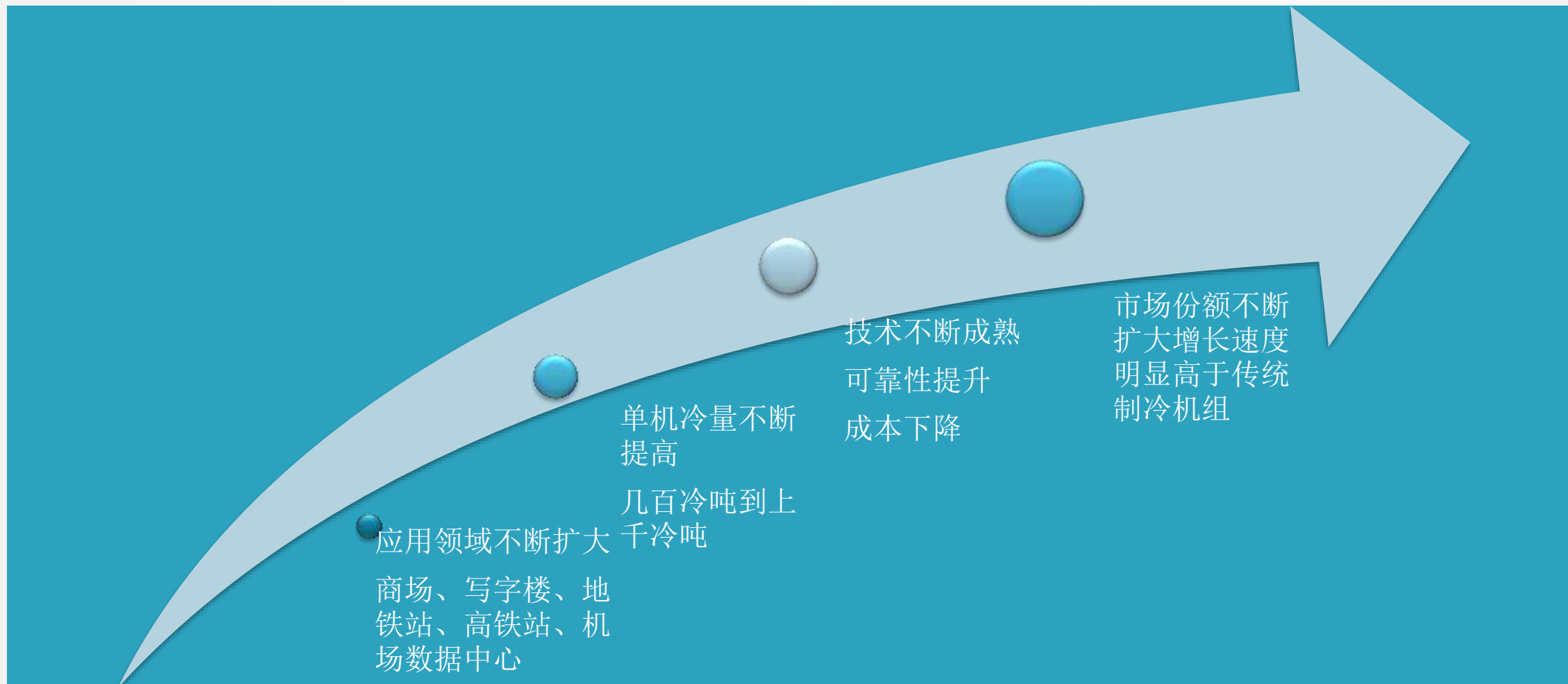
*Two-phase Modulation*

1993年 澳大利亚·墨尔本 TURBOCOR研究人员开展了磁悬浮高速变频离心制冷压缩机研发工作。
1999年，推出世界首款磁悬浮离心式压缩机产品。

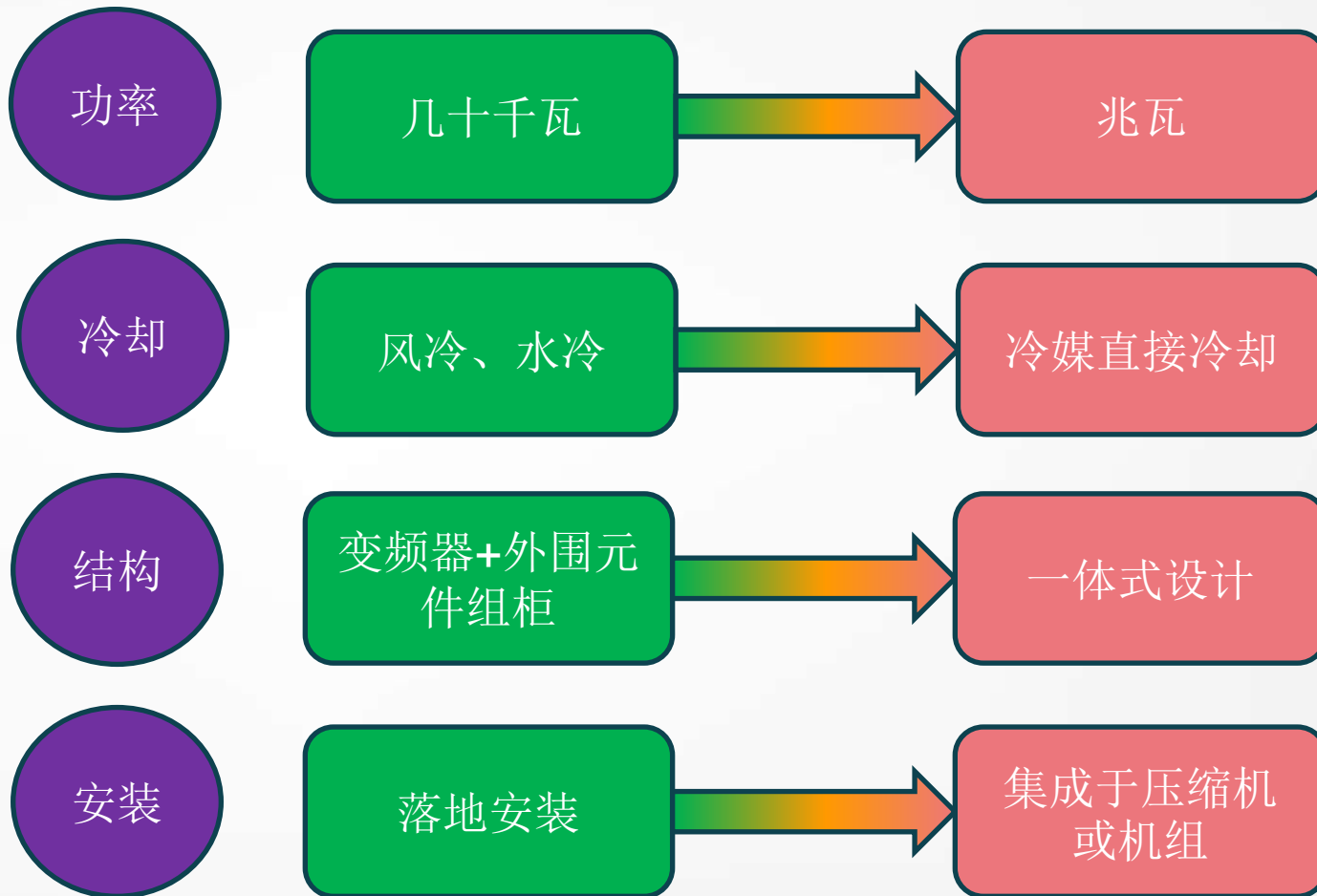


高速变频驱动是磁悬浮离心式
制冷压缩机中的核心部件之一

2003年之后，制冷和空调设备行业开始进入磁悬浮新时代，磁悬浮离心式压缩机获得快速发展。



作为磁悬浮离心式压缩机中的核心部件之一——磁悬浮高速变频驱动，也随着有了新的需求和发展。



飞旋科技成立于2006年，是专业从事磁悬浮高速旋转机械研发、推广和产业化的国家级高新技术企业。飞旋科技提出“磁悬浮+”概念，通过自主研发掌握了磁悬浮轴承、高速永磁电机、高速变频驱动、三元流体设计四大磁悬浮高速旋转机械系统的关键技术，具备跨行业应用产业化能力。



产品名称: EGR00系列冷媒冷变频柜

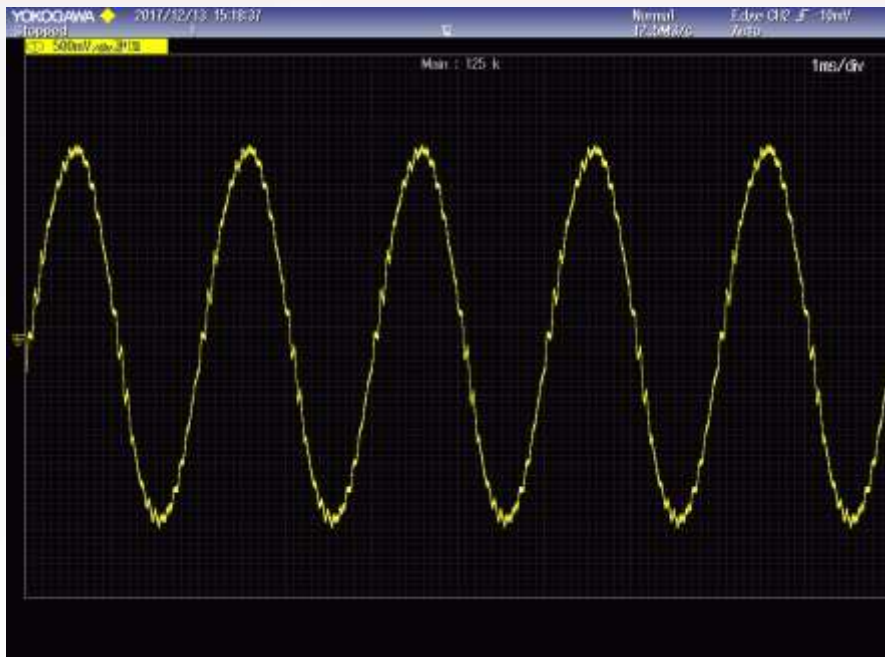
功率范围: 110-800kW

输出频率: 0~800Hz

载波频率: 8~12k

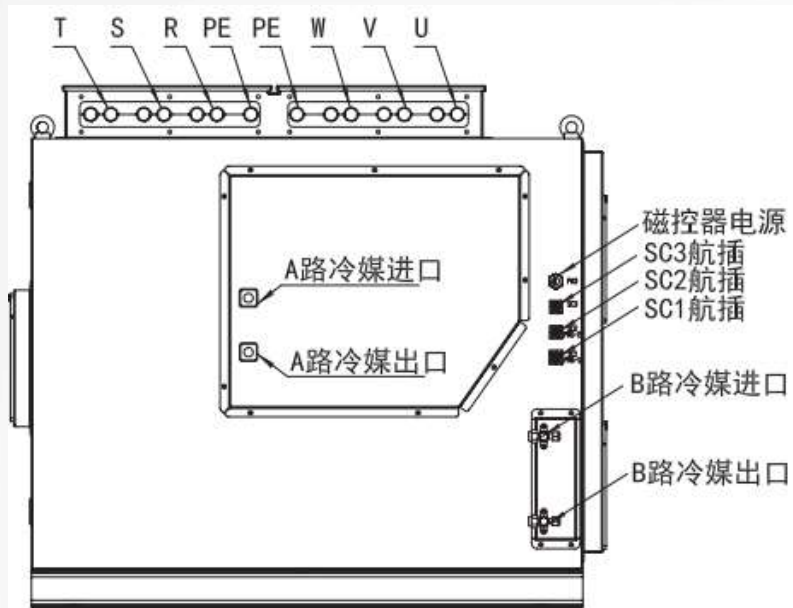
发明专利: 17项（冷媒散热4项）





- 载波频率高达12k，高调制比是电流波形光滑的物理基础。
- 电流矢量控制技术，输出电流波形正弦度好，畸变小，谐波含量低，电机定转子发热小。
- 参数自适应的无传感器位置估计算法，对高速电机参数随工况的大范围波动具有很高的适应性。
- 通过精准的死区补偿和先进的窄脉冲控制技术，有效减小了输出谐波，降低电机发热。

一体化紧凑式结构设计



■ 功能集成

- ✓ 将外围元件以及一些行业特殊需求集成在变频器中，通过扩展CPU板进行管理，减少客户使用难度，降低客户整体成本。

■ 机载一体化设计

- ✓ 可直接安装在机组上，安装孔位可定制，安装便捷
- ✓ 紧凑型设计，节省空间

■ 接口便捷

- ✓ 强电接口采用并联多端子，易于接线
- ✓ 弱电接口采用航插，方便快捷

■ 冷媒直接冷却

- ✓ 散热效率高，体积小，噪音小。
- ✓ 独特的散热流道设计，保证了功率器件的均温性。

■ 主动温度控制

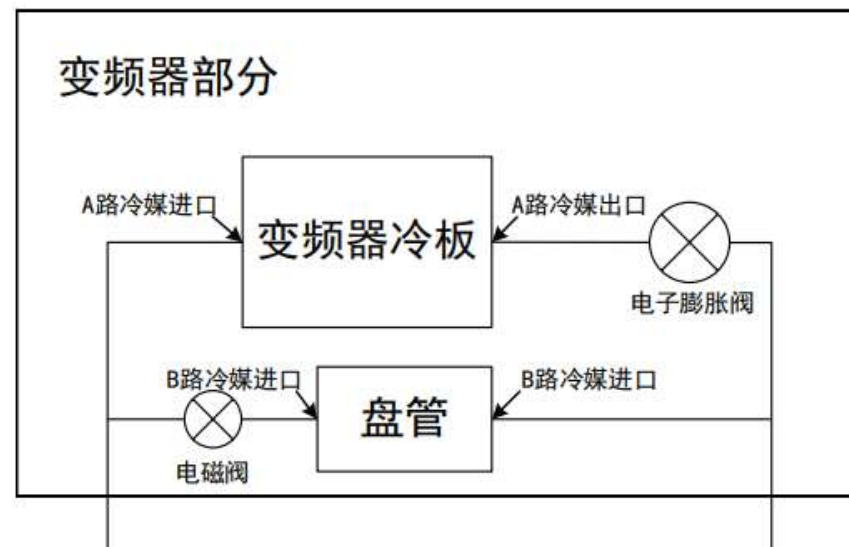
- ✓ 冷板和柜内温度可控，降低凝露风险，延长电子器件寿命。
- ✓ 防止温度过高、过低，波动等情况，温度冲击小。
- ✓ 自动调节冷媒流量，保证变频器工作在可靠和经济的状态。

■ 全密封设计

- ✓ 防护性能好，有效减少凝露风险。

■ 充分验证

- ✓ 与压缩机一起进行边界运行点测试，进行极端工况验证，确保全工况稳定运行。



两路冷却管道

一路通入散热冷板，冷却功率半导体。

一路通入冷却盘管，冷却柜内环境。

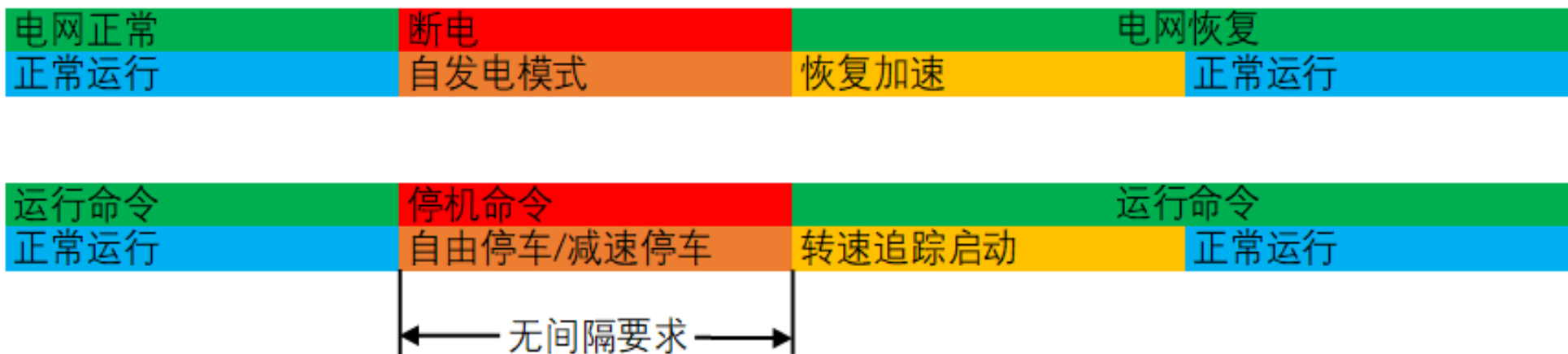
■ 掉电自发电

- ✓ 发电响应快：检测到嗒点后可在数百us内切入发电状态。
- ✓ 电压平稳：对母线电压直接进行控制，母线电压平稳，对磁控器电源冲击小。
- ✓ 随时恢复：自发电期间，供电恢复可自动恢复原来工作状态。
- ✓ 落轴稳定：落轴速度可以做到额定速度5%以内，甚至更低。

■ 转速追踪启动

可对旋转中电机转子位置和速度进行追踪，直接进行启动

以上两点保证了，可实现快速停机再启动，无任何时间间隔要求。



全系列集成3%输入交流电抗器

- 对于电网侧电压、电流谐波有改善作用，降低谐波对电网的不利影响。
- 提高功率因数。
- 削弱电网相间不平衡，抑制电网波动带来的冲击电流，对整流侧形成一定保护。

额定工况下变频器实测效率 $\geq 97\%$

- 高频低损耗的IGBT功率模块，结合低损耗的脉冲调制技术，相较于通用变频器可减少20%的开关损耗，助力变频器运行高效
- 调校驱动电路参数，优化开关过程，有效降低开关损耗。

短路保护

- 过压保护
- 过流保护
- 欠压保护
- 直通保护

软件保护

- 过压保护
- 过流保护
- 欠压保护
- 变频器过温保护
- 电机对地短路保护
- 变频器过载保护
- 电机过载保护
- 掉电自发电保护等

状态监测

- 对地短路监测
- 缺相监测
- 输出掉载监测
- 接触器吸合监测

■ 独有的断液保护功能

无冷媒启动，或者运行中突然失去冷媒，都能有效保护停机。

■ 柜内其他元件保护

监控电抗器、电解电容温度，在异常时报警。

谢谢观看！
THANKS FOR YOUR ATTENTION!