

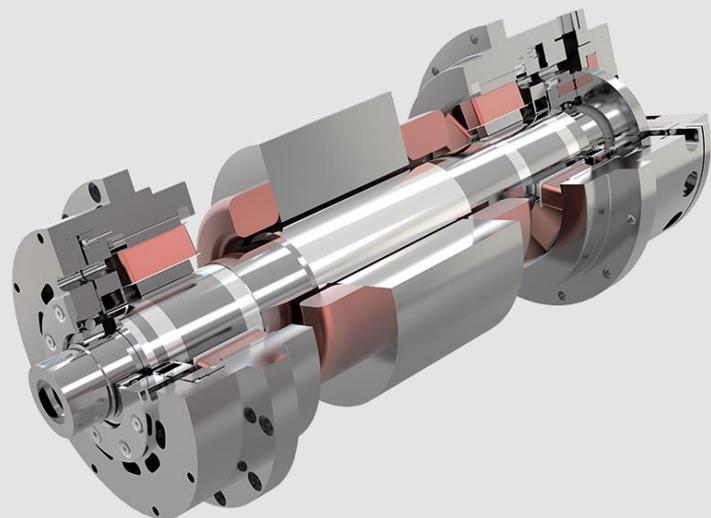
磁悬浮离心制冷压缩机的新技术

New Technology of Maglev Centrifugal Refrigerant Compressor

汇报内容简介：磁悬浮离心式制冷压缩机在能效提升、减振降噪、环保等方面的技术进步和发展趋势，涵盖关键技术及其在各领域的应用。通过开展学术讨论和技术交流，提高制冷压缩机的开发和应用水平，推动产品更新换代和行业科技进步。

汇报人：杜占波，西安交通大学博士。天津飞旋科技股份有限公司，气动设计副总工，制冷空调事业研发总工。叶轮机械气动设计优化及应用，离心式制冷压缩机、制冷热泵机组系统设计开发控制测试等。

自主知识产权的高速直驱磁悬浮技术



自主知识产权的高速直驱磁悬浮技术，以高速变频+高速电机+磁悬浮轴承与高效流体设计相结合，使传统叶轮机械实现质的飞跃，改变生活。

完美解决了机械传动轴承、齿轮变速、润滑油系统等所带来的一系列问题，结构更紧凑，体积更小，效率更高，运行更安静。

无油运行简化了系统、减小环境污染、消除了换热器等部件性能的影响。

无接触式长期稳定运行，也大大降低了保养维护花费。

开放的系统、先进的控制系统使得使用和运行拥有更多的自由度。

开放度高



节能高效



智能化



稳定可靠



低噪环保



维护成本低



自主研发的四大核心技术



磁悬浮轴承技术

- 采用飞旋[®]五自由度主动磁悬浮轴承技术，智能控制转子轴心位置，旋转部件零摩擦；
- 采用自动平衡技术，每秒超过10000次信号采集和实时校正，保证转子稳定悬浮；
- 省去传统轴承所必须的润滑系统，100%无油运行；
- 多重安全防护，配有断电保护系统及辅助轴承，避免意外断电造成轴承损坏。



高速永磁电机技术

- 高速永磁电机技术高速永磁电机直接驱动叶轮，省去了增速齿轮结构，提升了传动效率；
- 转子采用稀土永磁体励磁，第三方检测电机效率超97%；
- 高强度转子经115%的超速试验，保证永磁体在高速下的可靠性；
- 电机的电磁特性与叶轮气动特性、变频驱动特性进行匹配设计，实现整个系统效率最优。



高频矢量变频技术

- 专注高频，载波高达16kHz，输出频率高达800Hz，轻松驱动高速电机；
- 出色的损耗抑制和发热管理，高频输出不降容，适用各种恶劣运行环境；
- 高性能无传感器矢量控制技术，参数适应性好，控制性能高，输出谐波低，电机发热小；
- 智能自学习，一键辨识电机参数及控制参数，大幅降低调试难度和工作量。



高效流体机械技术

- 采用高强度航空铝合金或钛合金三维设计叶轮，五轴加工中心一体铣削成型，后弯式设计，工况范围宽；
- 设计时经过CAE有限元分析，来料通过100%探伤检测，加工完成后经过115%超速试验，表面防腐处理，保证在生命周期内的安全可靠。

四大核心技术带来的6大技术优势

开放度高

- 飞旋正向自主研发，可配合客户进行深度开发和应用，保证设计方案与客户需求高度契合。

高效节能

- 国家双一级能效
- 运行时转子完全悬浮，无摩擦，降低机械损失，与传统制冷压缩机相比节能20%以上，节约运行成本。

智能化控制

- 数字化智能控制系统，实时监测制冷压缩机轴承温度、轴心轨迹、电机绕组温度等几十项参数。
- 与用户主控机连接，实现系统联控。

稳定可靠

- 无油免维护，减少因油带来的80%设备运行问题。
- 无摩擦，避免轴承磨损，确保设备长久的使用寿命。
- 分体式设计，高可靠性。
- 断电自发电系统，避免意外断电导致设备损坏。

低噪环保

- 完全无摩擦运行，无齿轮啮合噪声。
- 系统采用环保工质。

维护成本低

- 无油设计，减免油路维护和维修环节，大幅节省维护维修成本。
- 无值守，免日常维护。

磁悬浮制冷压缩机的整体方案：分体 vs. 一体

分体式设计



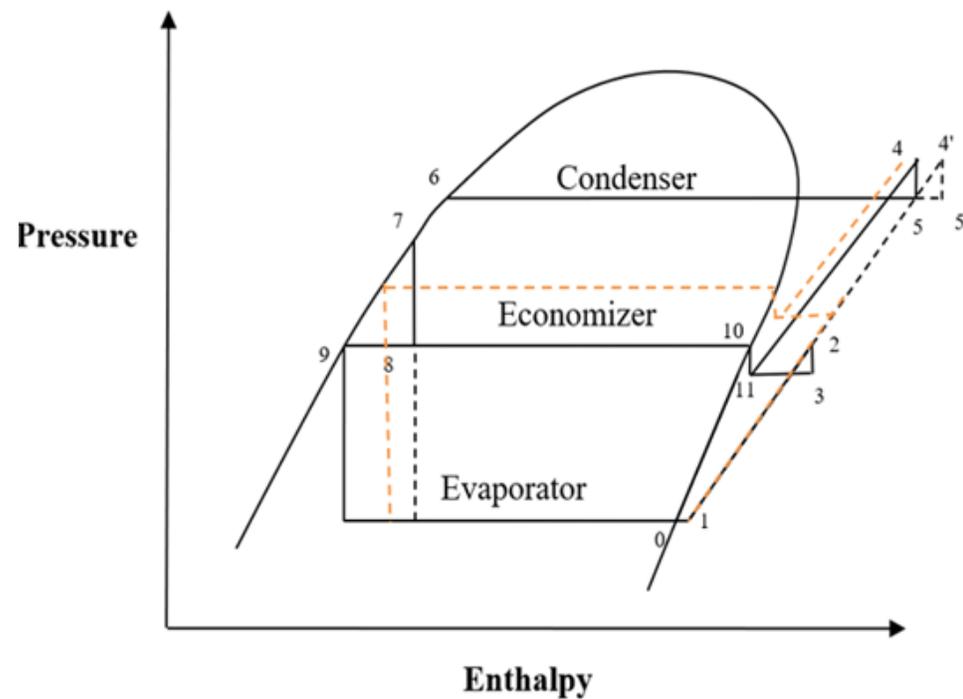
- ◆ 变频器、压缩机分体式设计结构简单，可靠性更高。
(变频器和压缩机可自由组合，适应更多工况和应用)

一体式设计



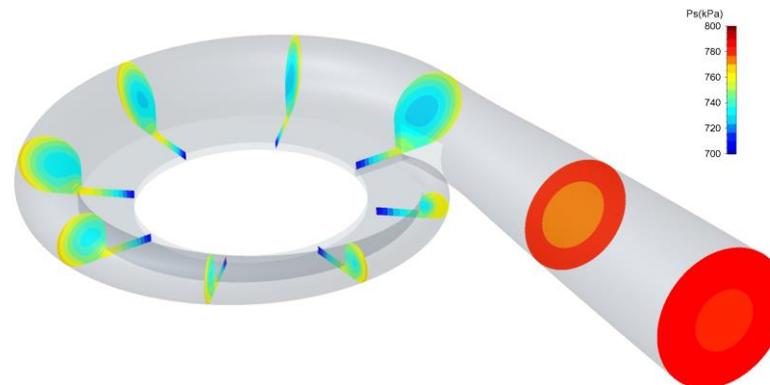
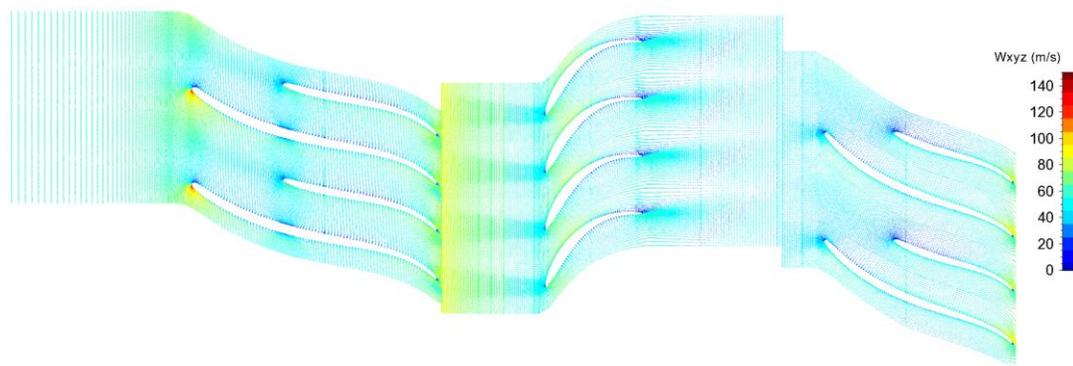
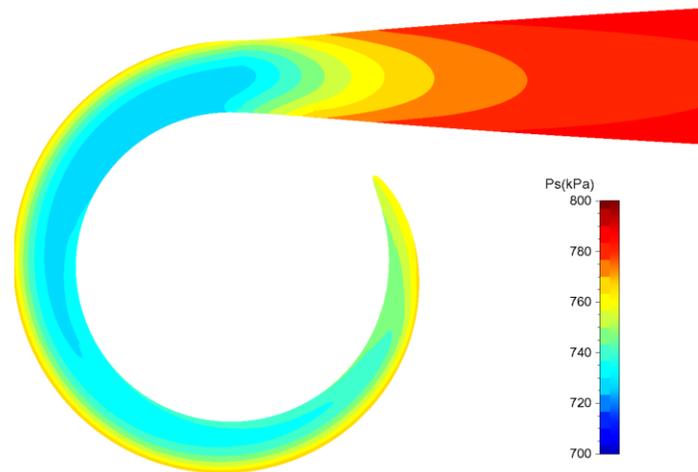
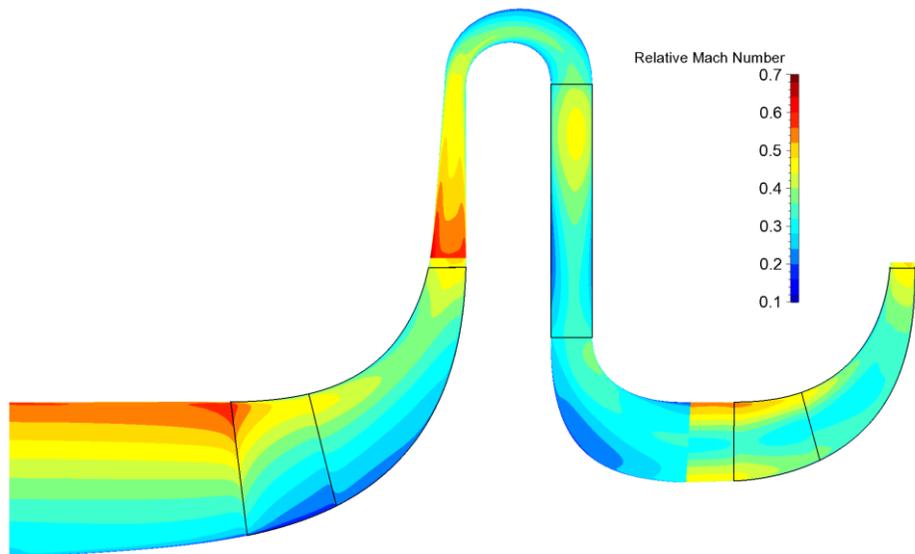
- ◆ 一体化设计，极致的成本优化控制
(设计复杂，灵活性差)

提高效率：合理分配两级的压比



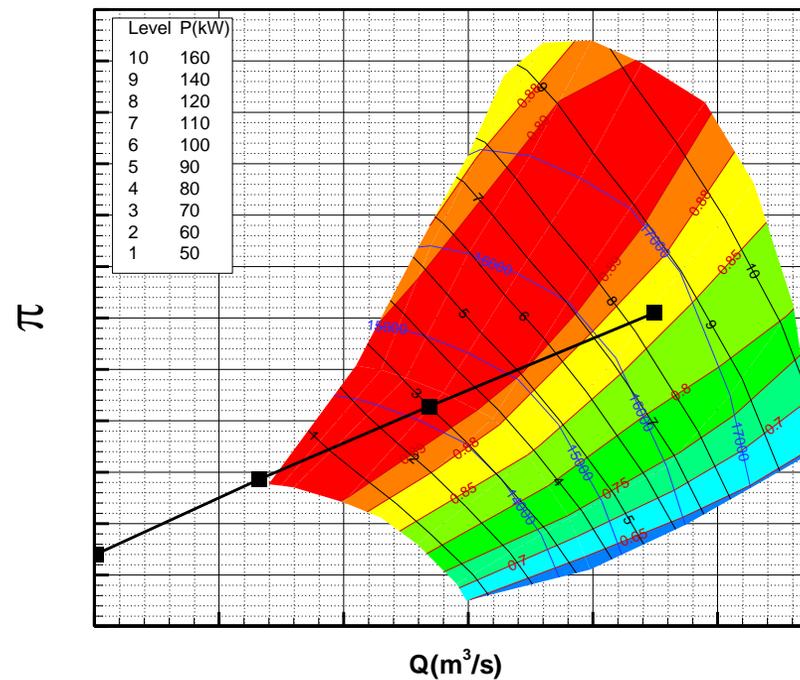
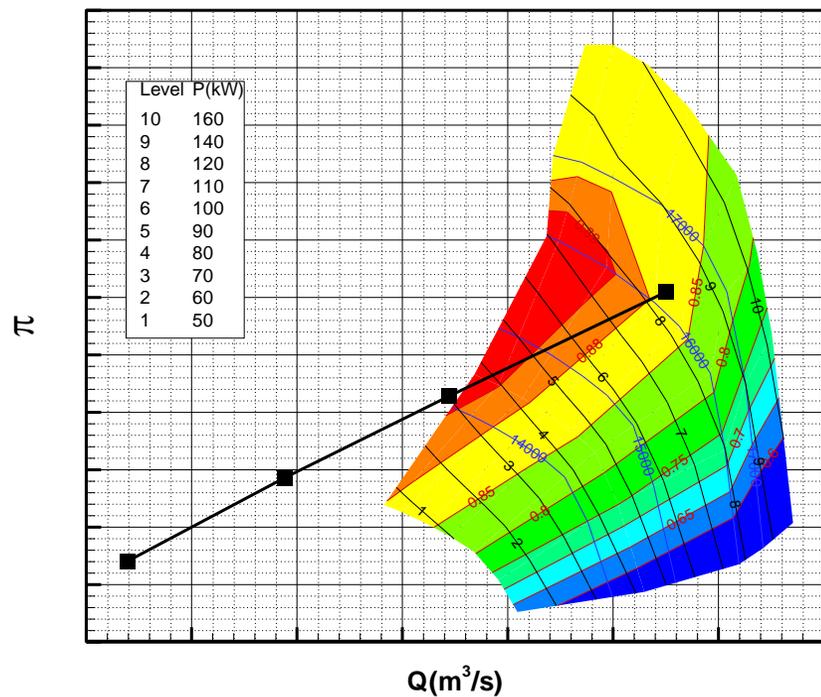
优化两级压比分配

提高效率：优化气动部件的流场



优化三维流场

提高效率：优化高效区匹配应用工况



调整高效区设计，贴近NPLV工况点

GB和AHRI工况的能效

GB (%)	Tsat (°C)	不带补气	带补气
120	6.0/36.0	5.635	6.205
96	6.0/36.0	6.076	6.517
100	6.0/36.0	6.021	6.429
75	6.2/30.7	7.690	8.020
50	6.5/26.2	9.635	9.884
25	6.5/20.6	11.141	11.136
		8.897	9.157

AHRI (%)	Tsat (°C)	不带补气	带补气
100	6/36.0	6.021	6.429
75	6.14/28.9	8.384	8.590
50	6.23/21.6	12.459	12.628
25	6.34/20.3	11.093	10.793
		10.519	10.650

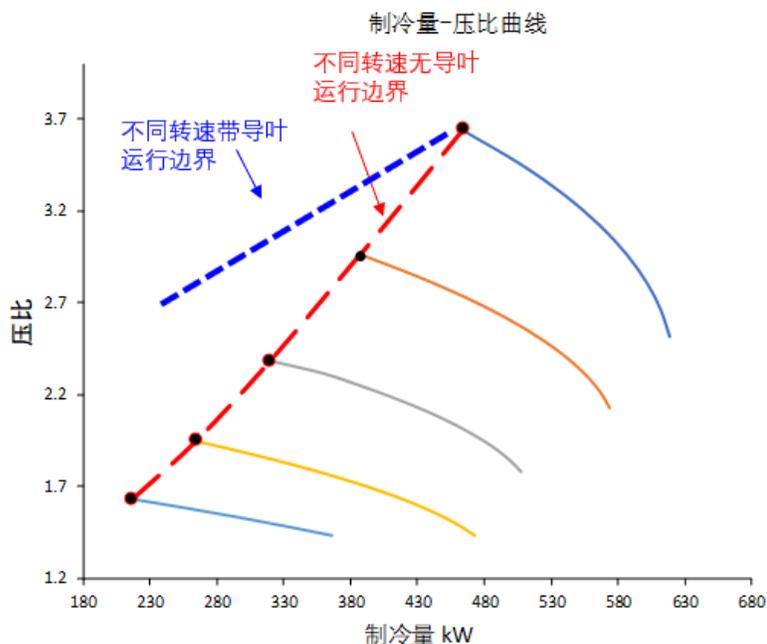
注：100%工况冷量250RT。

压缩机实验台测试数据。吸气过热度约3K，冷凝器过冷度取为5K。

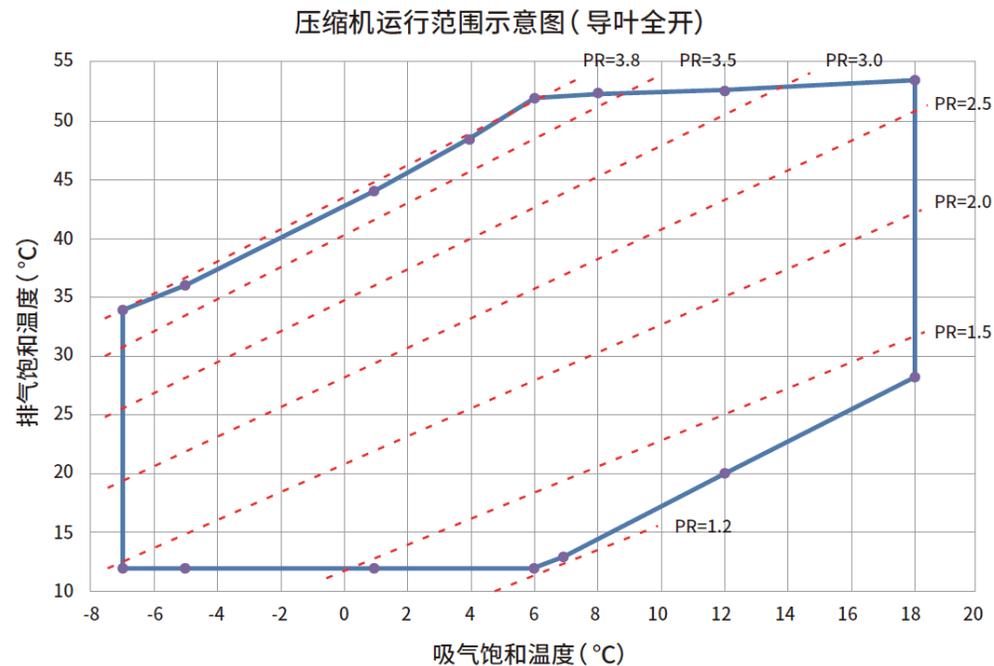
验证各种应用场景的运行（两种格式）

限制因素：

- 设计压力---排气最高压力
- 气动设计---压比
- 轴向推力---排气背压
- 电机电流---特定工况的最高转速
- 电机冷却---最小压比



按制冷量和压比示意的运行范围



注：制冷压缩机的实际运行范围受压缩机设计压比、轴承推力、电机功率和电机冷却等影响，每个型号的压缩机实际运行范围会有差异。

按吸气和排气饱和温度示意的运行范围

全面的可靠性验证：部件和整机

部件的可靠性测试：

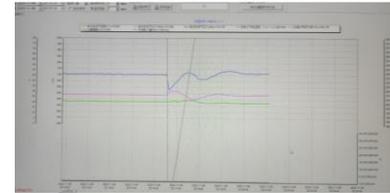
- 叶轮超速实验
- 导叶可靠性实验
- 电机壳、蜗壳、吸排气端盖等耐压和爆破实验
- 电机可靠性实验
- 变频器可靠性实验
- 磁控器可靠性实验

压缩机整机的可靠性测试：

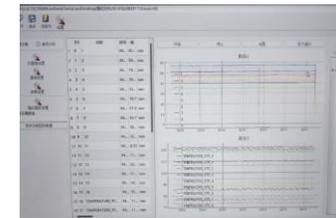
- 磁轴承悬浮测试
- 压缩机冷启动测试
- 压缩机快速重启测试
- 电机冷却测试
- 喘振测试
- 反向旋转测试
- 电源故障（带和不带自发电）测试
- 缺相实验
- 电磁兼容性试验
- 压缩机机体振动测试
- 电机最大功率运行测试
- 累计长期运行测试



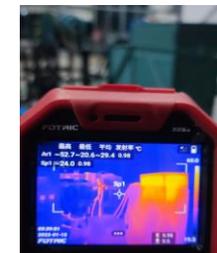
制冷压缩机测试台



快速重启测试



电机冷却测试



变频器和整机温度场

EMR系列制冷压缩机、高频矢量变频器（柜）

变频器（柜）：19个功率，3种冷却方式

系列化的制冷压缩机（电机）

压缩机框架代号	压缩机型号	名义制冷量 (RT)
风冷应用	150	150
水冷空调、 数据中心、 低温热泵、 水（冰）蓄冷	115	150
	120	200
	225	250
	230	300
	235	350
	775	750
	990	900
	9A0	1000

变频器名义功率 (kW)	冷媒冷变频器柜代码	水冷变频器代码	风冷变频器代码
55	C05	B05	A05
75	C07	B07	A07
90	C09	B09	A09
110	C11	B11	A11
132	C13	B13	A13
160	C16	B16	A16
185	C18	B18	A18
200	C20	B20	A20
220	C22	B22	A22
250	C25	B25	A25
280	C28	B28	A28
315	C31	B31	A31
355	C35	B35	A35
400	C40	B40	A40
450	C45	B45	A45
500	C50	B50	A50
560	C56	B56	A56
630	C63	B63	A63
710	C71	B71	A71

EMR系列制冷压缩机技术支持：选型及性能预测软件

支持中英文双语，灵活的输入选择
 可自定义工况选型，并核算该型号在指定工况的性能
 可选择无补气和两类补气方式，可以增加吸气和补气过热度

▶ 选型及性能预测软件：带界面的选型软件（如下图）、性能预测（DLL高速计算子程序）

The software interface is divided into several sections:

- Input Parameters:**
 - Language: 中文
 - Load: 150, RT
 - Refrigerant: R134a
 - Operating Condition: AHRI工况
 - Efficiency Input: 效率输入
 - Flash Tank: 闪蒸罐
 - Pressure Drop Input: 管道压降输入
- Operating Conditions Table:**

参数	负荷 100 %	负荷 75 %	负荷 50 %	负荷 25 %
蒸发温度	6.00 °C	6.15 °C	6.29 °C	6.34 °C
冷凝温度	36.00 °C	28.90 °C	21.60 °C	20.30 °C
过冷度	5.0 °C	5.0 °C	5.0 °C	5.0 °C
压差	0.034 MPa	0.034 MPa	0.034 MPa	0.034 MPa
补气温度	20.16 °C	13.40 °C	11.93 °C	12.08 °C
- Compressor Selection Results Table:**

计算	100%	75%	50%	25%
制冷剂 (kg)	296	187.5	125	62.5
输入功率 (kW)	140.251	82.583	55.045	28.477
输入电流 (A)	0.182	0.102	0.068	0.034
蒸发量 (kg/min)	335.437	243.778	159.798	78.058
吸气比容 (m³/kg)	18.937	13.071	8.816	4.201
排气比容 (m³/kg)	235.437	243.778	159.798	78.058
排气温度 (°C)	7.873	0.59	0	0
吸气过热度 (°C)	0	0	0	0
排气过热度 (°C)	1.384	1.043	0.735	0.252
制冷剂过热度 (°C)	1.17	0.871	0.609	0.209
制冷剂过冷度 (°C)	1.605	0.932	0.495	0.191
制冷剂过饱和 (°C)	1.407	0.779	0.41	0.162
制冷剂过饱和 (KJ/kg)	59.08	15.872	8.792	4.45
制冷剂过饱和 (KJ/kg)	0.139	0.206	1.012	1.852
排气压力 (MPa)	0.132	0.288	0.699	0.952
吸气压力 (MPa)	0.103	0.221	0.609	0.955
制冷剂过饱和 (°C)	0	0	0	0
制冷剂过饱和 (°C)	13.071	8.813	4.811	1.0021
制冷剂过饱和 (A)	327.644	217.643	137.821	62.048
- Performance Graph:** A graph showing the relationship between pressure ratio (F) and various performance metrics. The x-axis ranges from 0 to 1.6, and the y-axis ranges from 0 to 1.6. The graph includes curves for maximum speed (最大速度), design speed (设计速度), input point (输入点), and minimum speed (最小速度).

EMR系列制冷压缩机技术支持：压缩机一体化控制

离心压缩机控制任务：

- 压缩机保护
- 电机冷却
- 压缩机喘振防护
- 压缩机优化运行
- (运行状态监控)

➤ 一体化控制软件

控制参数

警告、报警

序号	名称	值
1	吸气压力	0.000
2	排气压力	0.000
3	补气压力	0.000
4	吸气温度	0.000
5	排气温度	0.000
6	补气温度	0.000
7	后凉温度	0.000
8	气障温度	0.000
9	绕组温度	0.000
10	电机腔压力	0.000
11	吸气过热度	0.000
12	排气过热度	0.000
13	压比	0.000
14	母线电压	0.000
15	变频器输出电压	0.000
16	变频器输出电流	0.000
17	变频器输出功率	0.000
18	变频器温度	0.000
19	变频器频率	0.000
20	变频器状态	0
21	变频器的编码	0
22	上Y轴位移值	0.000
23	下Y轴位移值	0.000
24	状态字	0
25	报警字	0
26	故障字	0
27	启动标志	0
28	LOV标志	0

压缩机模式配置和参数配置，手动调试界面

DSP参数修改

open file 读取参数

第一组 第二组

写DSP参数 命令清0

ARM参数修改

open file 读取参数

第一组 写ARM参数

序号	写入值	读参数值
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0

手动控制 校准

悬浮 下落

VFD_on VFD_off

写频率

写IGV

写旁通阀

三花开度

写补气阀

模式配置

自动

调节阀冷却(线性)

旁通不启用

补气阀

切入阀

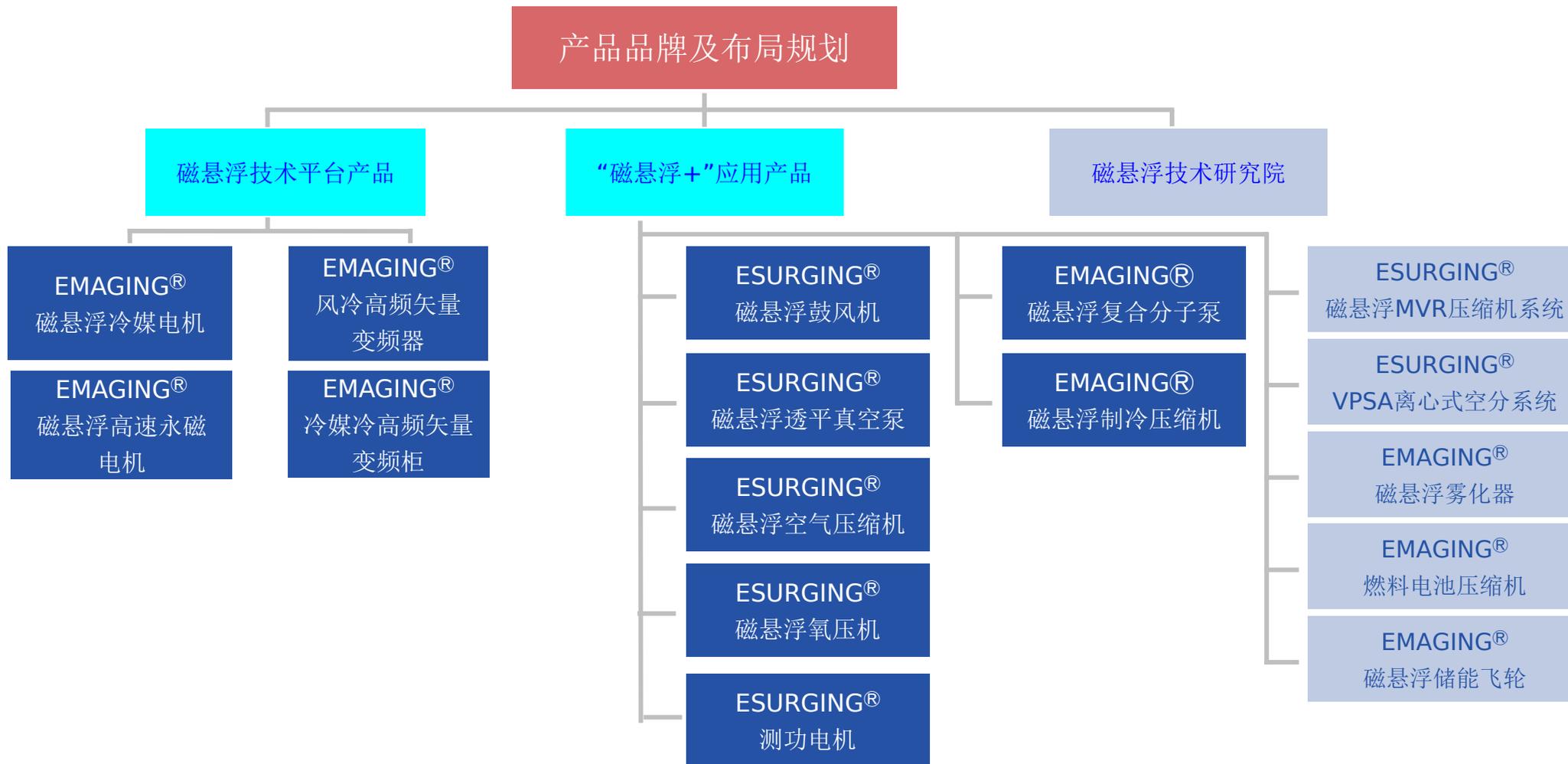
配置模式

自动控制

启动

停止

“磁悬浮+” 家族 —— 用磁悬浮改变生活



谢谢!



亿昇（天津）科技有限公司

亿昇（天津）科技有限公司是飞旋科技的全资子公司，注册资本1.4亿元，承担天津飞旋部分磁悬浮+系列产品的产业化。

全资子公司



天津飞旋科技股份有限公司

天津飞旋科技股份有限公司坐落在天津经济技术开发区，注册资本3.75亿元，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，通过自主研发拥有磁悬浮高速传动系统整体核心技术知识产权，并具备跨行业应用产业化能力。

www.emaging.com.cn



浙江飞旋科技有限公司

浙江飞旋科技有限公司是飞旋科技的全资子公司，注册资本1亿元，承担天津飞旋部分磁悬浮+系列产品产业化。

全资子公司