

ENGINEERING
TOMORROW



丹佛斯数据中心冷却及能源综合利用解决方案



降低数据中心PUE的核心途径

$$PUE = \frac{\text{数据中心总能耗}}{\text{IT设备总能耗}} = \frac{\text{IT设备能耗} + \text{冷却系统能耗} + \text{供电设备能耗} + \text{照明及其它能耗}}{\text{IT设备能耗}}$$
$$\approx 1 + \frac{\text{冷却系统能耗}}{\text{IT设备能耗}} + \frac{\text{供电设备能耗}}{\text{IT设备能耗}} = 1 + CLF + PLF$$

CLF: 制冷能效因子，PLF：供电系统的能耗

冷却系统的能耗：

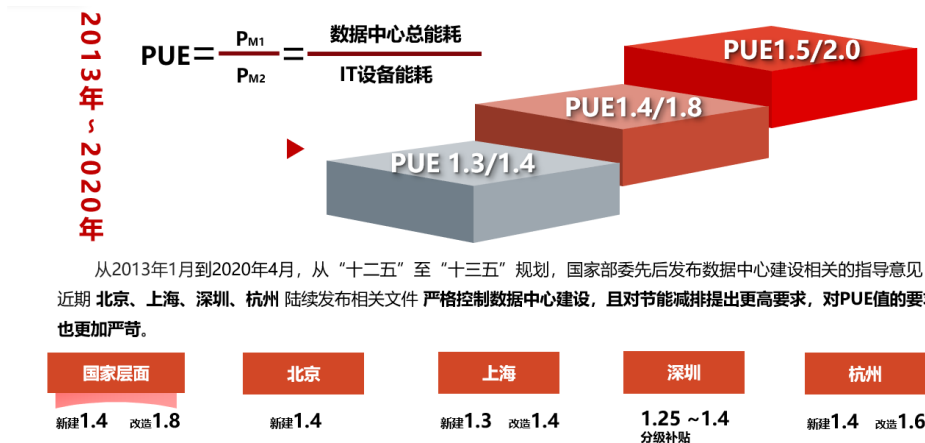
- PUE1.5，空调系统能耗占比**26%**
- 冷源设备/制冷机组能耗，占比50% - 70%
- 输配系统设备（主要是水泵、输送风机）能耗
- 散热设备（主要是末端散热风机、冷却塔风机、空冷器风机）能耗

供配电系统的能耗：

- PUE1.5，传统供配电及电源能耗占比**7%**
- 另需空调制冷确保供配电工作温度
- 资产投入占比大，工程量大

上海首先推出-综合电能利用效率CPUE：

将评价新建和存量数据中心的能效指标，其中节能技术的应用，包括余能利用都有对应折算扣减。为数据中心能源综合利用开了新篇章。



从2013年1月到2020年4月，从“十二五”至“十三五”规划，国家部委先后发布数据中心建设相关的指导意见，近期北京、上海、深圳、杭州陆续发布相关文件严格控制数据中心建设，且对节能减排提出更高要求，对PUE值的要求也更加严苛。

统计期内数据中心综合电能利用效率 CPUE 应按公式（1）计算：

$$CPUE = PUE_{EE} - \sum \gamma_i - \gamma_{SE} - \gamma_{WE} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

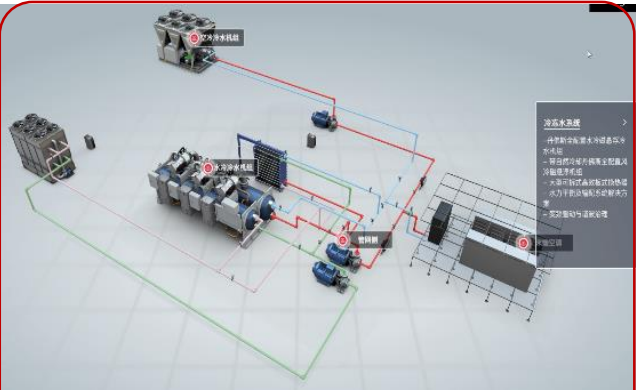
PUE_{EE} ——数据中心电能利用效率；

γ_i ——为考虑数据中心重要性、技术创新与应用等因素所设置的电能利用效率调节因子；

γ_{SE} ——统计期内从数据中心回收并对外供应的能量，按 JG/T 358 折算的等效电能（单位为 kWh_{EE}）与 IT 设备电能消耗的比值；

γ_{WE} ——统计期内数据中心利用的工业废弃能源，按实际利用热值或 JG/T 358 折算的等效电能（单位为 kWh_{EE}）与 IT 设备电能消耗的比值。

丹佛斯解决方案 - 助力数据中心降低PUE



高效冷水带自然冷却系统

丹佛斯冷水系统整体解决方案，以全球引领的磁悬浮无油全配置冷水机组为高效冷源，到全球领先的自然冷却板式换热器，再到管网输配优化，以及末端水力平衡，全面优化冷水冷却系统的能效，创造PUE值的新低！

- 水冷/风冷磁悬浮无油冷冻水系统
- 新型风冷直膨精密空调系统
- 主机、水泵和冷却塔变频器和谐波滤波器
- 关断阀、智能电动调节阀
- 水力平衡阀：静态，动态压差平衡
- 自然冷却高效换热器
- 流量/量冷热量设备



热回收及综合能源利用

丹佛斯依托于市场引领地位的区域供暖技术和磁悬浮无油大温差热回收热源，为数据中心的热回收及能源综合利用提供了可靠创新的解决方案，突破单PUE的现有体系，全面提升数据中心的CPUE值。

- 磁悬浮热泵系统
- 主机、水泵变频器，谐波滤波器
- 关断阀和水力平衡阀
- 高效换热器
- 供热管网设计和优化
- 换热站
- 末端温控
- 二次网智能化水力平衡控制系统



高效综合配电系统

丹佛斯综合配电系统，一站式交流直流配电解决方案，提供从交流690V到直流240V的优质电源，以及机房辅助设施的交流电源并可省掉传统变频器。并支持各种新能源的接入，以及锂电池储能。模块化并联管理和环网技术，提高冗余负载率和备用可靠性。

- 集成式预装配置
- 共直流母线系统
- 10KV高压进线，交直流综合输出
- 锂电池储能
- 洁净能源并网
- 柴发应急电源并网
- 液冷系统



消防灭火

作为固定灭火系统方面的全球领导者，提供高压细水雾在数据中心的产品和应用，从全生命周期降低消防成本

- 高压细水雾泵组
- CCCF，FM认证各类喷头
- 高压九柱塞泵
- 控制阀

数据中心高效冷却方案:磁悬浮全配置冷水机+自然冷+多种末端形式

带自然冷却全配置风冷磁悬浮机组

- 适合中小型数据中心
- **改造型数据中心项目**
- 允许更高的出水温度
- 集合蒸发冷凝等应用, 实现WUE和PUE的双低

全配置水冷磁悬浮冷水机组

- 无油技术, 性能无衰减
- 超高的部分负荷能效, IPLV大于11
- 30s快速启动, 确保数据中心不间断供冷
- 更高的出水温度, 应对高负载机柜液冷等趋势

大型可拆高效板式换热器

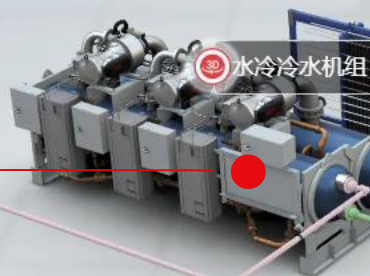
- 庞大的板片家族和定制化换热解决方案
- 用于大型冷水系统
- 针对自然冷却小温差传热优化

变频器及滤波器

- 针对水泵和风机优化, 性能卓越
- 节能高效、稳定可靠
- 精确控制冷冻水出水温度

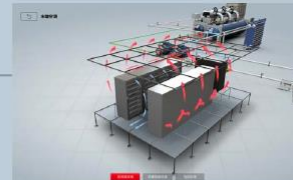
水力平衡及输配系统解决方案

- 多种类阀组满足数据中心不同的水力平衡需求
- 高可靠关断阀产品, 冷却系统可靠性的关键保证
- 水力计算、安装调试、数字化运行优化的解决方案



管网侧

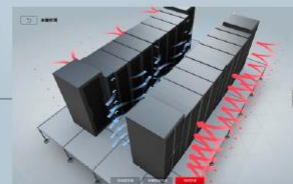
末端



房间级空调



热管背板空调



列间空调



丹佛斯磁悬浮无油冷水带自然冷却系统

从冷源到末端，绿色可靠、降低PUE

冷源

+

管网系统

+

换热设备

+

末端控制



采用丹佛斯全配置元件
无油磁悬浮冷冻水机组

节能高效
稳定可靠



水泵、冷却塔变频器
谐波滤波器
关断阀和水力平衡阀

优化管网
水力平衡
减少损耗



Free cooling优化
高效换热器

高效传热

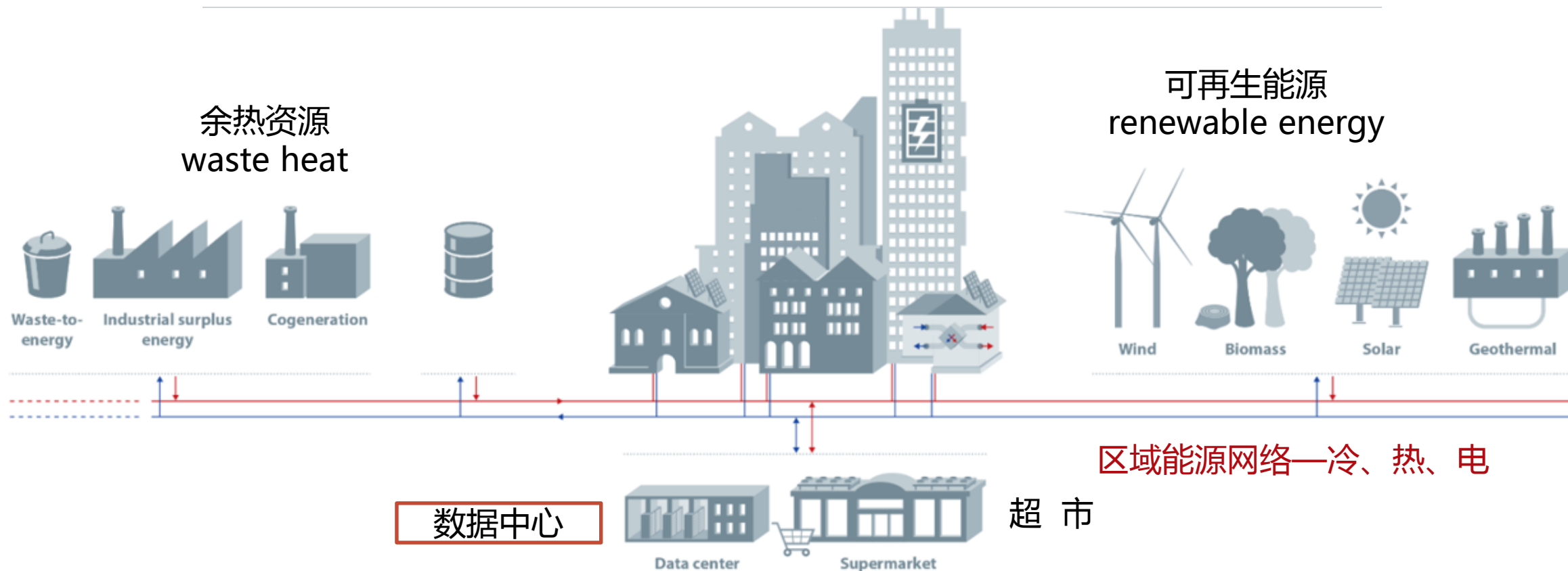


各类平衡阀
计量设备

精准控温

District Energy 区域能源是实现碳中和最有效的途径

打破用能体系边界，实现多领域能源耦合利用，发挥能效潜力，多方利用余热及可再生能源

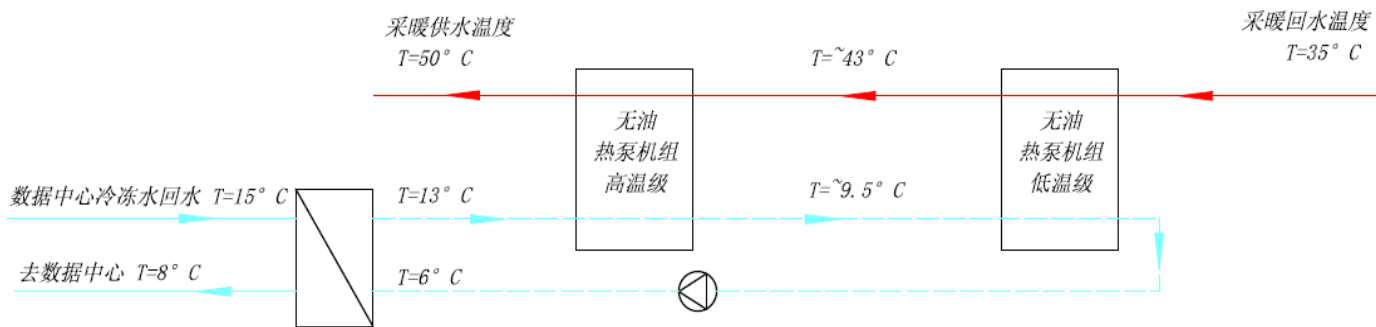


CPUE < 1 ?

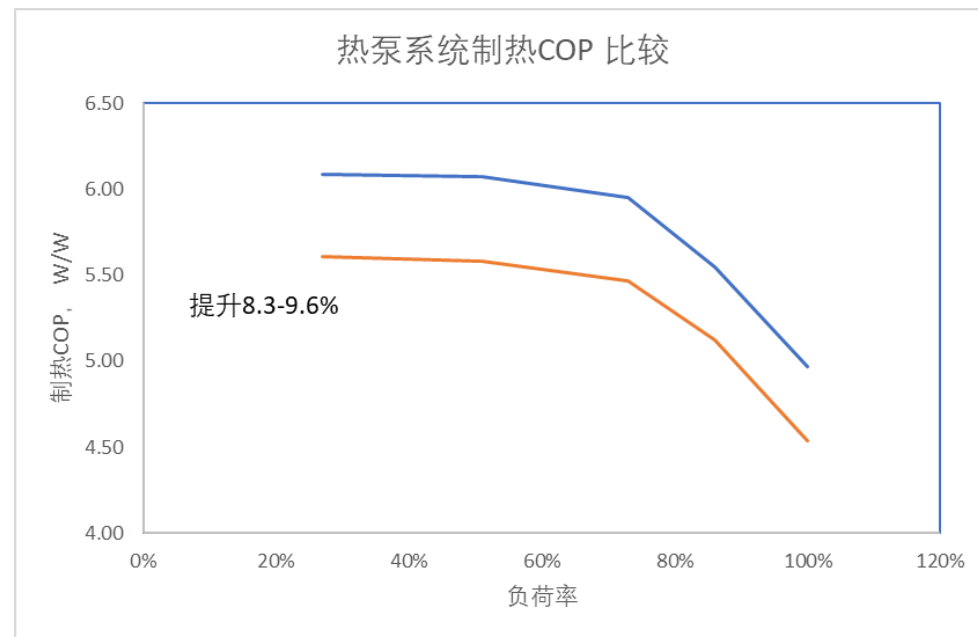
$$CPUE = PUE_{EE} - \sum \gamma_i - \gamma_{SE} - \gamma_{WE}$$

丹佛斯数据中心热回收综合解决方案

◆**磁悬浮离心式热泵机组** 创造了离心机组在热泵领域应用的标杆，机组水路布置灵活，支持机组串联应用不增加成本且增加效率，并支持高出水温差满足区域供热需求；持续超高能效，在10%以上低负载均能高效运行，较变频螺杆热泵机组减少耗电量8%以上，满足节能要求，与供热负荷随季节变化的特点相匹配。



磁悬浮热泵系统布置图，冷冻水侧热回收，水路串联布置



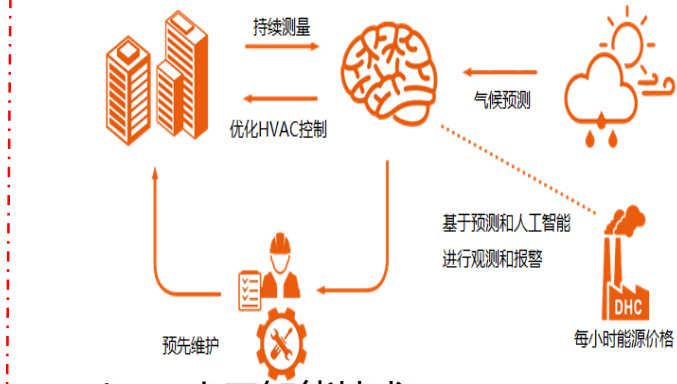
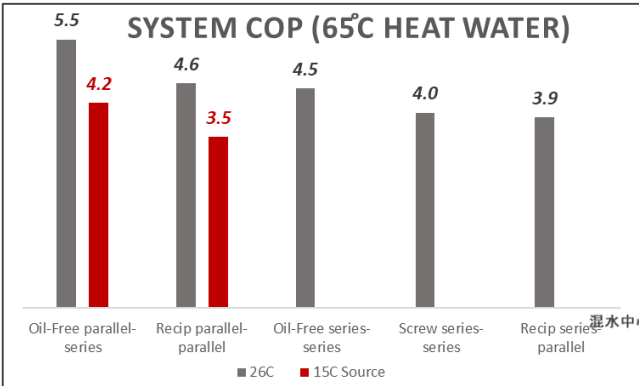
--变频螺杆 -- 无油方案

丹佛斯数据中心热回收综合解决方案



磁悬浮热泵机组

- 最高67 °C出水
- 串联流程20 °C大温差供回水



Heatheat人工智能技术



换热机组



户内地暖

SCADA

热源

一次管网

区域换热站

二次管网

热力入口

户内末端



热源

方案特点：

- 根据供热末端用户的需要及热源供给特点进行预测、控制和调节。



一次管网

方案特点：

- 采用高质量的关断阀门以保障系统安全性和可靠性；
- 楼宇换热机组的应用。



区域换热站

方案特点：

- 紧凑型预组装换热机组的应用；
- 水力平衡与控制的结合；
- 不同运行模式下的换热站控制。



二次管网

方案特点：

- 采用高质量的关断阀门以保障系统安全性和可靠性；
- 楼宇热平衡机组的应用。



终端用户

方案特点：

- 动态平衡型电动控制阀实现分户温控和动态的水力平衡；
- 分户热计量。



整个区域供热管网的监控系统

方案特点：

- 根据不同运行模式的灵活的控制策略；
- 运行管理；
- 与收费系统及其他ERP系统的结合。

来自丹麦欧登赛的实践案例

利用Facebook数据中心余热回收、热泵和可再生能源进行区域供暖

Odense Data Center: Heat Recovery Process



- 100MW余热
- 6900户供暖
- 2017年立项
- 2019年投入运营

利用风能等可再生能源补给发电，供应数据中心

通过水管网回收数据中心的排热

通过热泵将来自数据中心的温水配合额外的可再生能源，产生用于区域供暖的高温热水

高温热水通过区域管网向社区供暖

腾讯天津数据中心余热回收应用

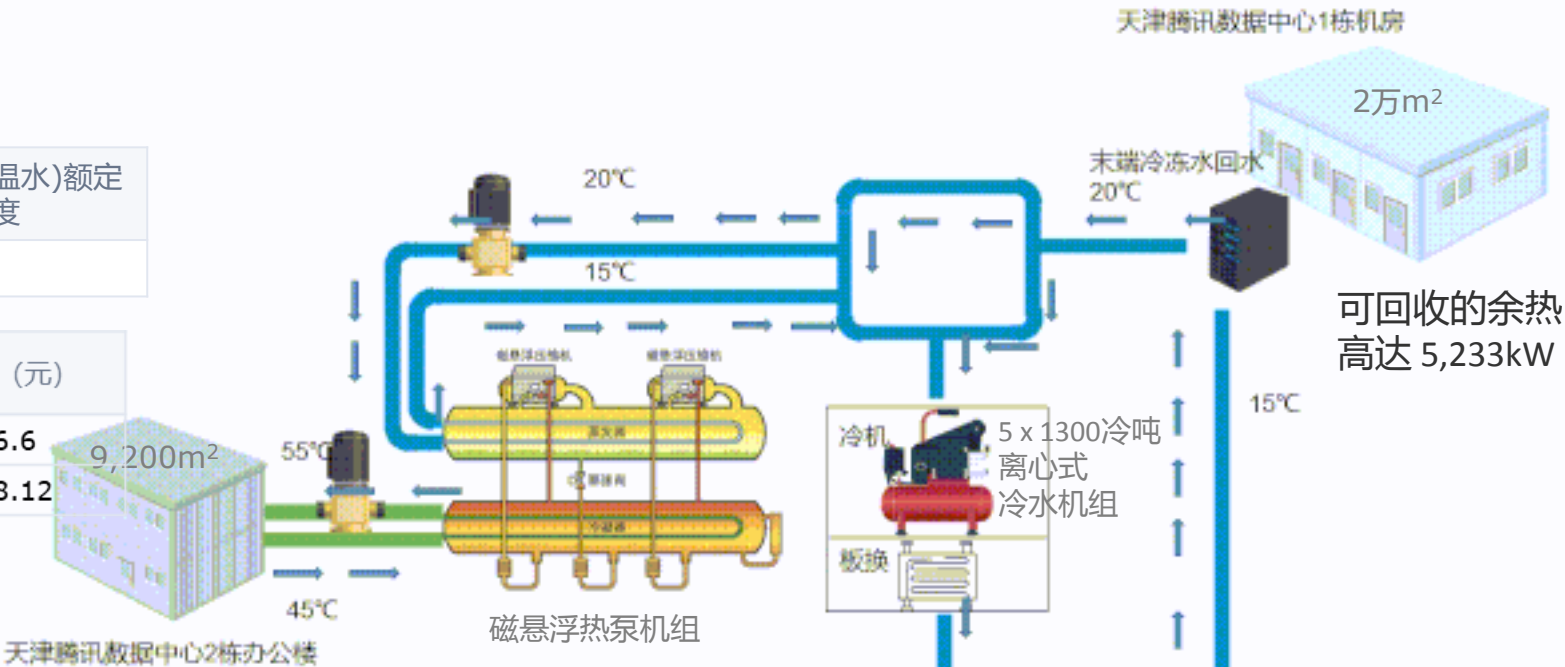
冬季节省成本约50万元

天津滨海新区腾讯数据中心
园区占地面积9万平方米

设备	制热量	最大输入功率	冷冻水(低温水) 额定出/入口温度	冷却水(中温水)额定 出/入口温度
磁悬浮热泵	600kW	135kW	15/20℃	55/45℃

暖方式	采暖费 (日)	热泵系统每 日电费 (元)	原市政水泵 耗电量 (度)	DC1栋制冷系 统耗电量 (度)	成本 (元)
市政采暖	3167	0	171.6	2808	6146.6
余热回收	0	588.12	0	2730	3318.12

若将腾讯天津数据中心1/3/4号楼全部进行
余热回收于热力公司，热量用于采暖可覆盖
的面积达到46万平，如果用于家庭采暖，可
满足**5100多户**居民的用热需求，减少二氧化
碳量达16万吨



采暖负荷
为540kW



- 机组制热额定COP高达4.9
- 比其他电热泵节电40%
- 体积减小30—50%
- 重量减轻30%

无油水冷式冷水机组丹佛斯全配置方案

高效全系列 Turbocor® 无油离心压缩机

- 全球技术领先，市场多年验证
- 卓越的部分负荷和满负荷能效
- 极低的全寿命运行费用



TT

TG



- 系统和机组控制器
- 预置应用级模块化程序

电气控制



MCX152V

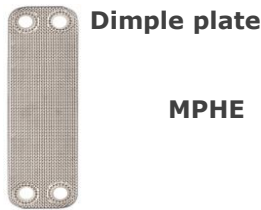


变频器

- 内置压缩机优化控制
- 优化电磁干扰和谐波治理
- 定制化变频器更契合无油磁悬浮离心压缩机的控制特性

创新板式换热器

- 用于模块化式无油机组以及经济器应用
- 高效传热，中压冷媒优化设计，更低的传热温差

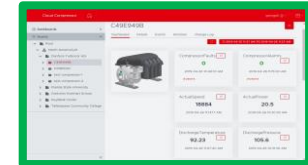


Dimple plate

MPHE

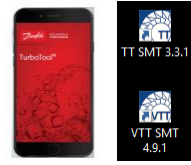


大冷量无油磁悬浮机组



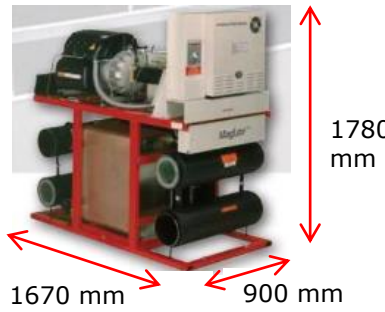
远程监控及服务工具

- 保证可靠高效运行，方便运行维护



精确的参数测量监控及完善的系统保护

- 压力、温度传感器
- 压力、温度开关
- 安全阀



模块化式无油磁悬浮机组

特别针对无油应用优化设计的全系列机组阀件一站式配置



SCA

截至止回阀



GB

球阀



EVR

电磁阀



SGP , DMB , DCR

视液镜，干燥过滤器



AKS4100

液位传感器



ETS , ICM

电子膨胀阀



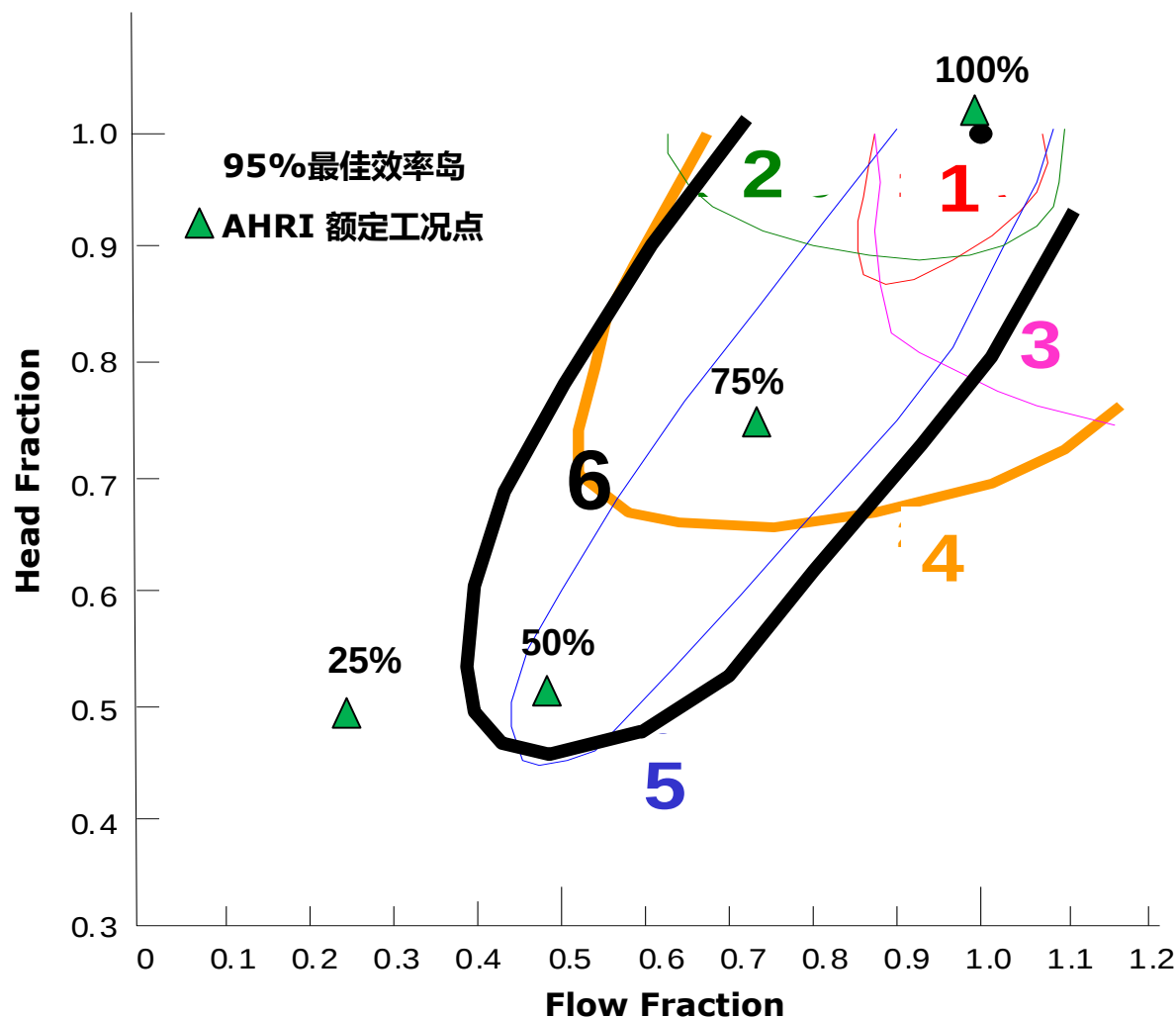
- 丹佛斯制冷阀件90年经验
- 市场品质最优
- 全球多年领先市场
- 专门针对无油机组优化设计
- 一站式采购配置和服务支持

丹佛斯磁悬浮压缩机产品



磁悬浮离心式压缩机能效表现

-IPLV最大可达11以上，节能率40%以上

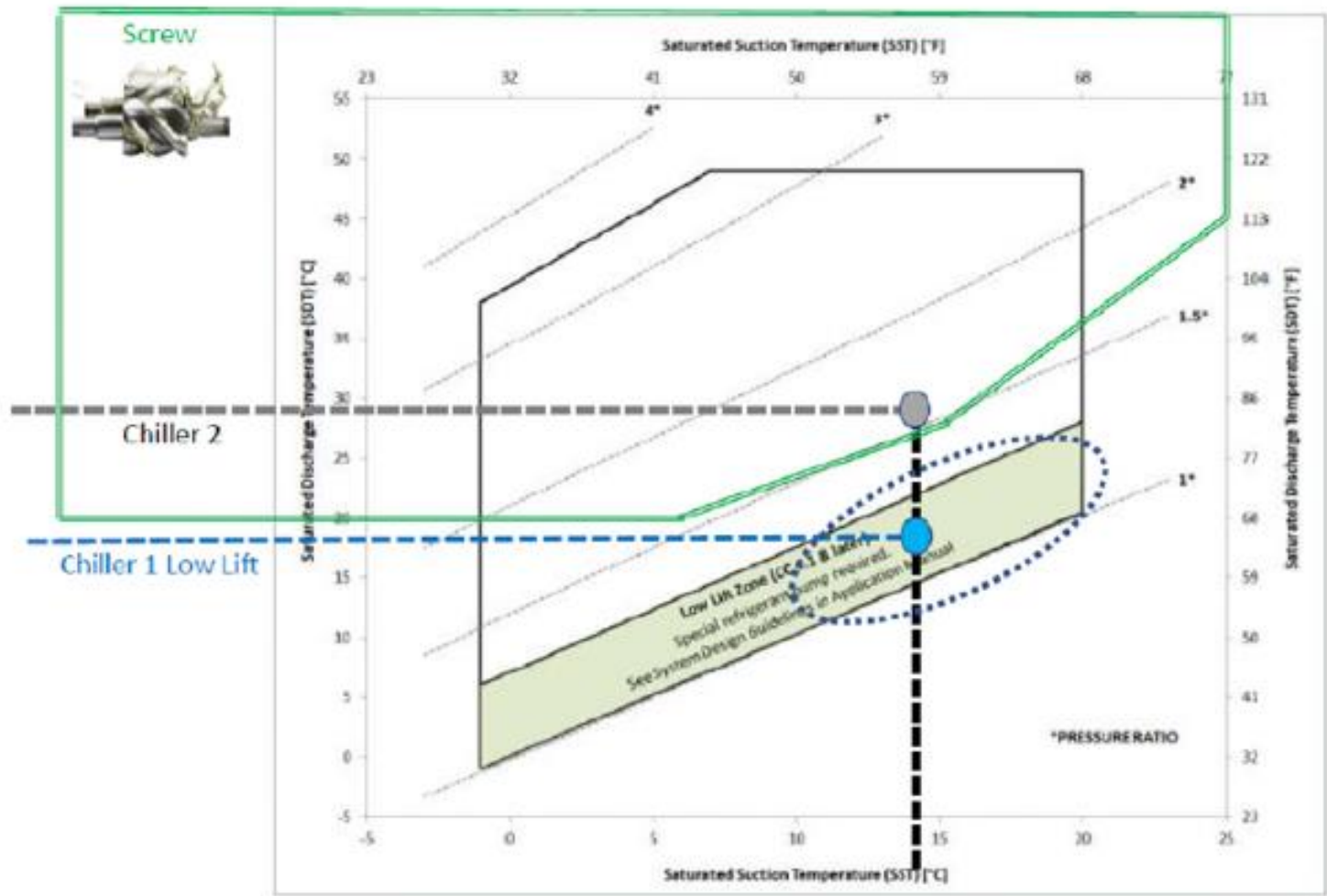


1. Fixed speed centrifugal compressor with inlet guide vanes – single stage
带进口导流叶片的单级定频离心压缩机
2. Fixed speed centrifugal compressor with variable diffuser geometry – single stage
带可变扩散器的单级定频离心压缩机
3. Fixed-speed oil-flooded screw compressor with slide valve
定频带滑阀螺杆压缩机
4. Variable speed low-oil screw compressor
变频低油螺杆压缩机
5. Variable speed centrifugal compressor – single stage
单级变频离心压缩机
6. Oil-free variable speed centrifugal compressor – two stage
双级无油变频离心压缩机

来源: Comparison of Part-Load Efficiency Characteristics of Screw and Centrifugal Compressors, International Compressor Engineering Conference , Purdue, 2006)

低压比高SST工况运行

无回油及润滑影响，满足IDC应用温度特性需求



出水温度
7 °C 至 20 °C 以上

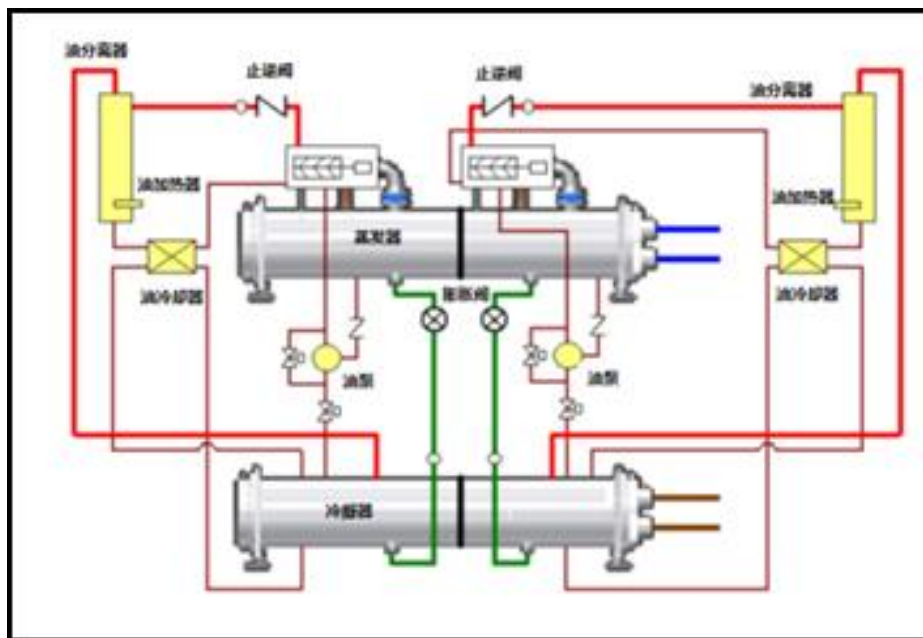


系统无油

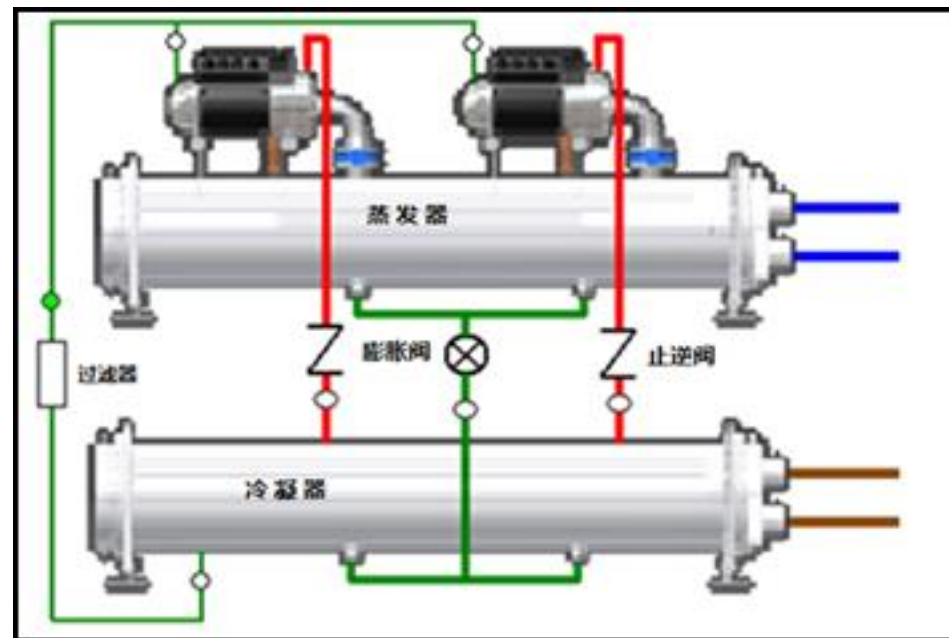
减少系统复杂性，降低设计风险

简化系统设计

有油系统



无油磁悬浮系统

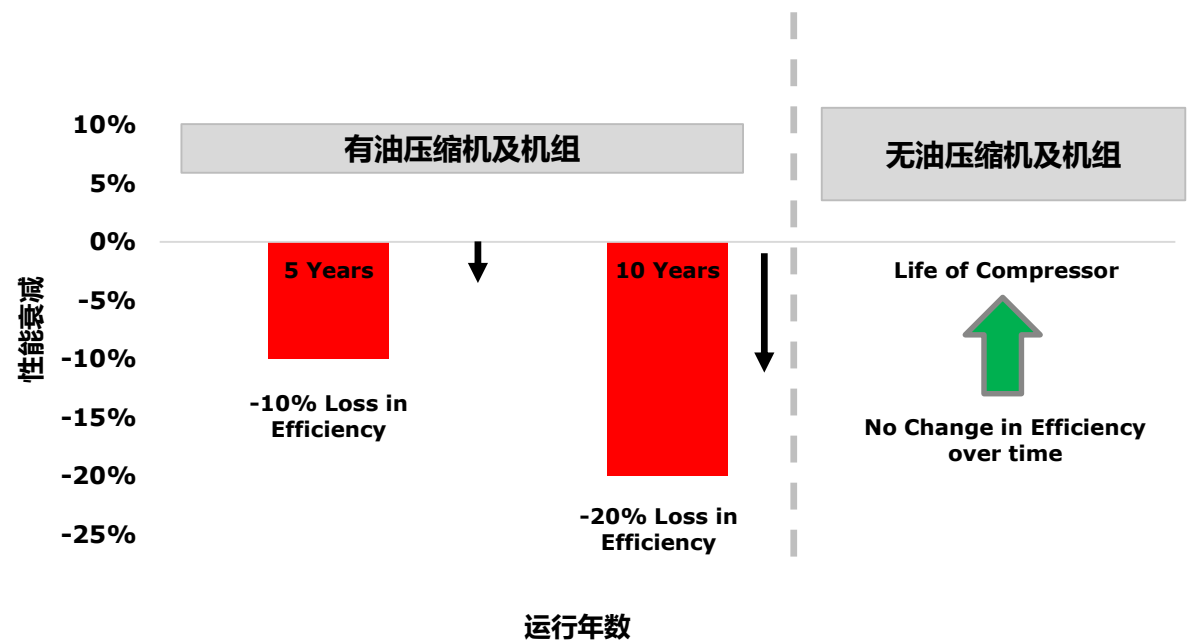


长期运行性能

润滑油导致机组性能衰减



机组性能随运行时间增加而降低

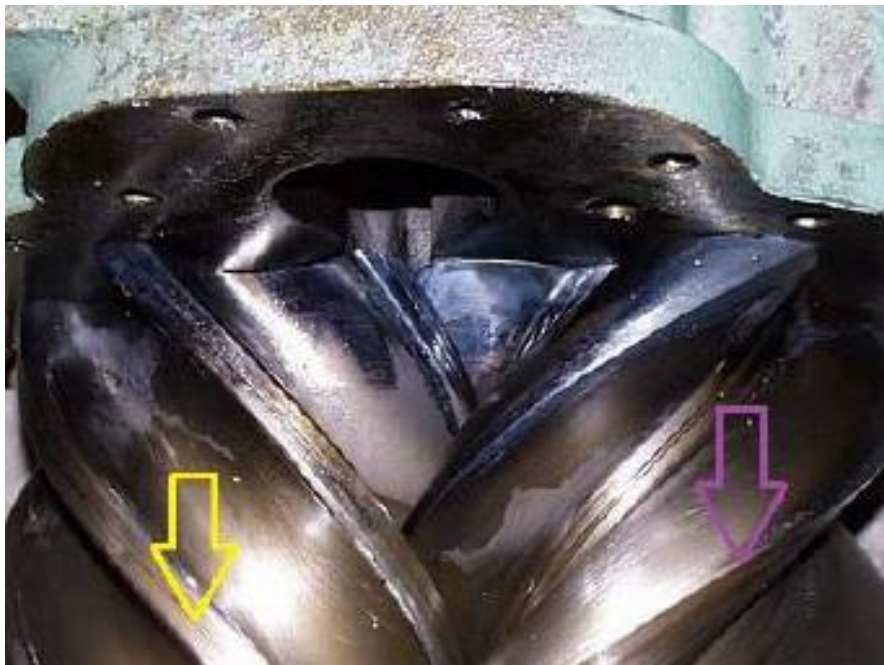


2014 清华大学研究报告

- 有油冷水机组性能存在明显衰减，且会随着运行时间的延长而加重：
 - 运行 5 年以上，性能衰减超过10%
 - 运行10年以上，性能衰减超过20%
 - 一台 2800 KW（800冷吨）的机组，运行10年后，每年：能耗将增加 371,200 kw-hr，多排放260吨二氧化碳。
- 研究项目为期 2 年，数据收集长达 6 年
- 36 台机组现场测试（26 台离心机组，10 台螺杆机组）
- 24 幢建筑楼宇
- 针对不同类型数据，开发出 3 种不同分析方法
- 所有机组均进行常规保养

长期运行性能

机械磨损导致压缩机性能衰减



机械磨损随运行时间对性能的影响

- 另一项研究表明油润滑螺杆式压缩机随运行时间变化存在明显的机械磨损，造成机组性能明显下降：
 - 轴承、转子过度磨损
 - 能量调节滑阀过度磨损
- 结论：
 - 机械磨损可能发生在任何时间段内
 - 运行时间即使少于5年，机械磨损仍然导致螺杆压缩性能显著降低
 - 运行15年后性能平均降低26%



Source: Ying Zheng and Michael Bellstedt (Minus40 Pty Ltd). "Final Report: Compressor Degradation Assessment and Wear Mitigation Strategy."

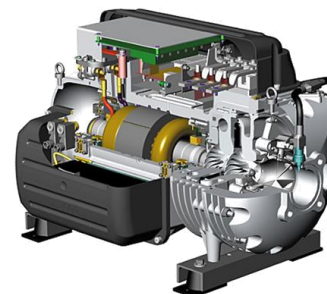
无油压缩机长期运行性能研究

性能0衰减

油润滑螺杆压缩机



无油磁悬浮离心压缩机



机械磨损

运行5年，机械磨损导致
性能明显衰减



生命周期内无机械磨损

性能衰减

运行10年，性能衰减
高达20%



生命周期内制冷量和性能
无衰减

免油路系统维护

维护项目	有油系统	无油系统
检测油位	日常	不需要
换油	每年	不需要
更好油过滤器	每年	不需要
检查油泵，机油箱加热器	每周	不需要
油质分析	每年	不需要



每年节省3万元

丹佛斯数据中心冷却综合解决方案

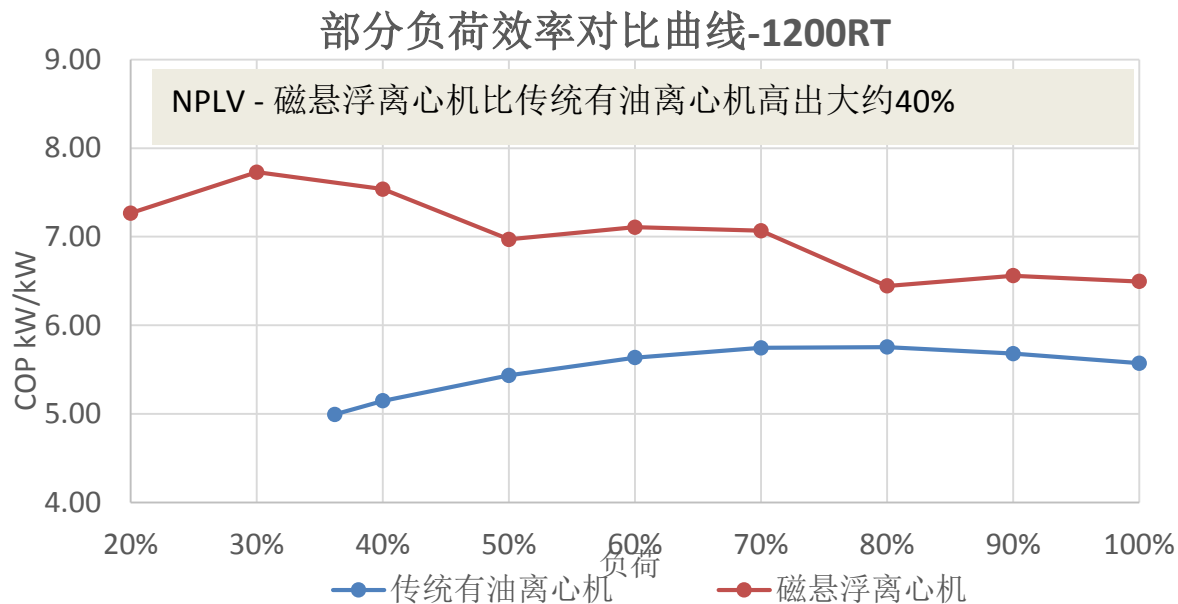
◆**磁悬浮离心式冷水机组** 在10%以上的宽泛部分负载运行区间，具有全负载超高能效特点，较普通离心机组大幅度减少耗电量，满足节能要求，可与数据中心分期上架率，长时间部分负荷运行相匹配

 **节省能源和运行费用**
能效最高

 **冗余性**
多压缩机并联及备份

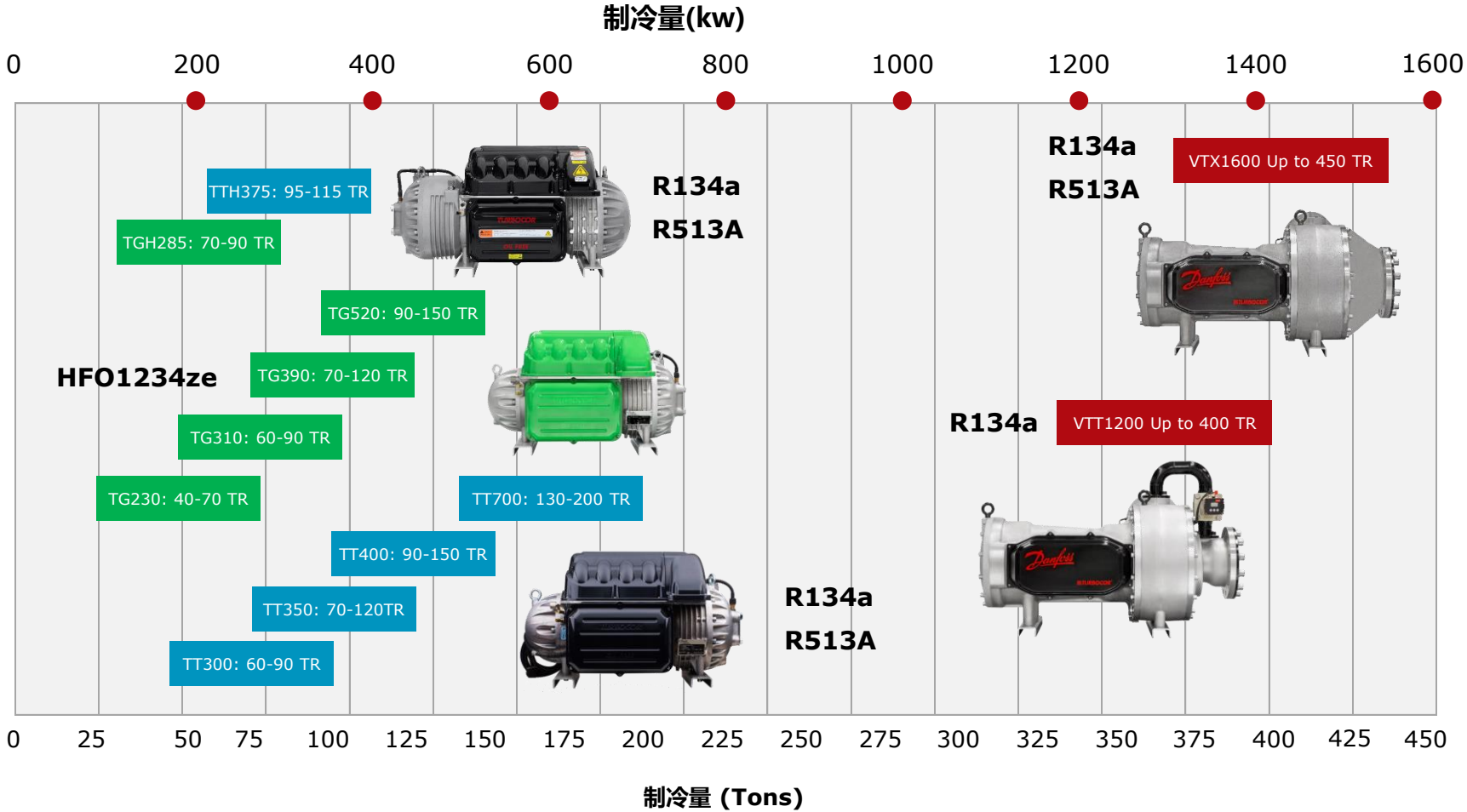
 **30秒快速启动**
启动电流低

 **无油运行**
无衰减，无油路维护



Danfoss Turbocor® 无油压缩机家族

产品系列



全球布局



US: Tallahassee FL
Plant Opening: 2007



- Main Site, all functions
- IATF Certified
- Technology Center
- Capacity 10,000 units/year
- 10,000 m² including ADC
- 190 People

Germany: Offenbach
Opening 2016



- European Service Center
- Better service the European OEMs
- 240 m² Office/Lab/Warehouse
- 1 people + 1 shared customer service

China: Haiyan
Opening 2017



- Assembly Line/ Service Center
- Dedicated CN and APA
- ISO 9000 and ISO14000
- Capacity from 3,000 to 10,000
- 2,600 m²
- 25 people

丹佛斯 **TURBOCOR®**

磁悬浮无油技术应用开拓者和领导者

全球装机总量

100,000+



TT300, 350, 400, 700压缩机：
100 ~250冷吨



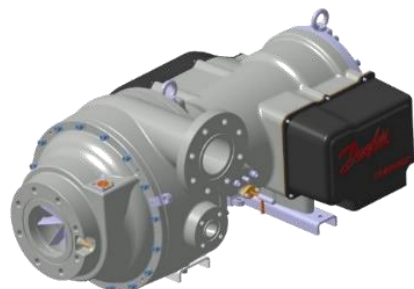
VTX1350, 1600压缩机：400
~500冷吨

磁悬浮无油机组更适合多压缩机并联应用



TT300, TT350, TTH375压缩
机：80~120 冷吨

数据中心工况，21/15℃



医院



酒店



政府机构



机场



数据中心



轨道交通

中国主要客户

McQuay
Air Conditioning

DAIKIN

 **CANATAL**

 **TRANE**

MULTISTACK

Haier

BSE

 **Carrier**

CLIMVENETA



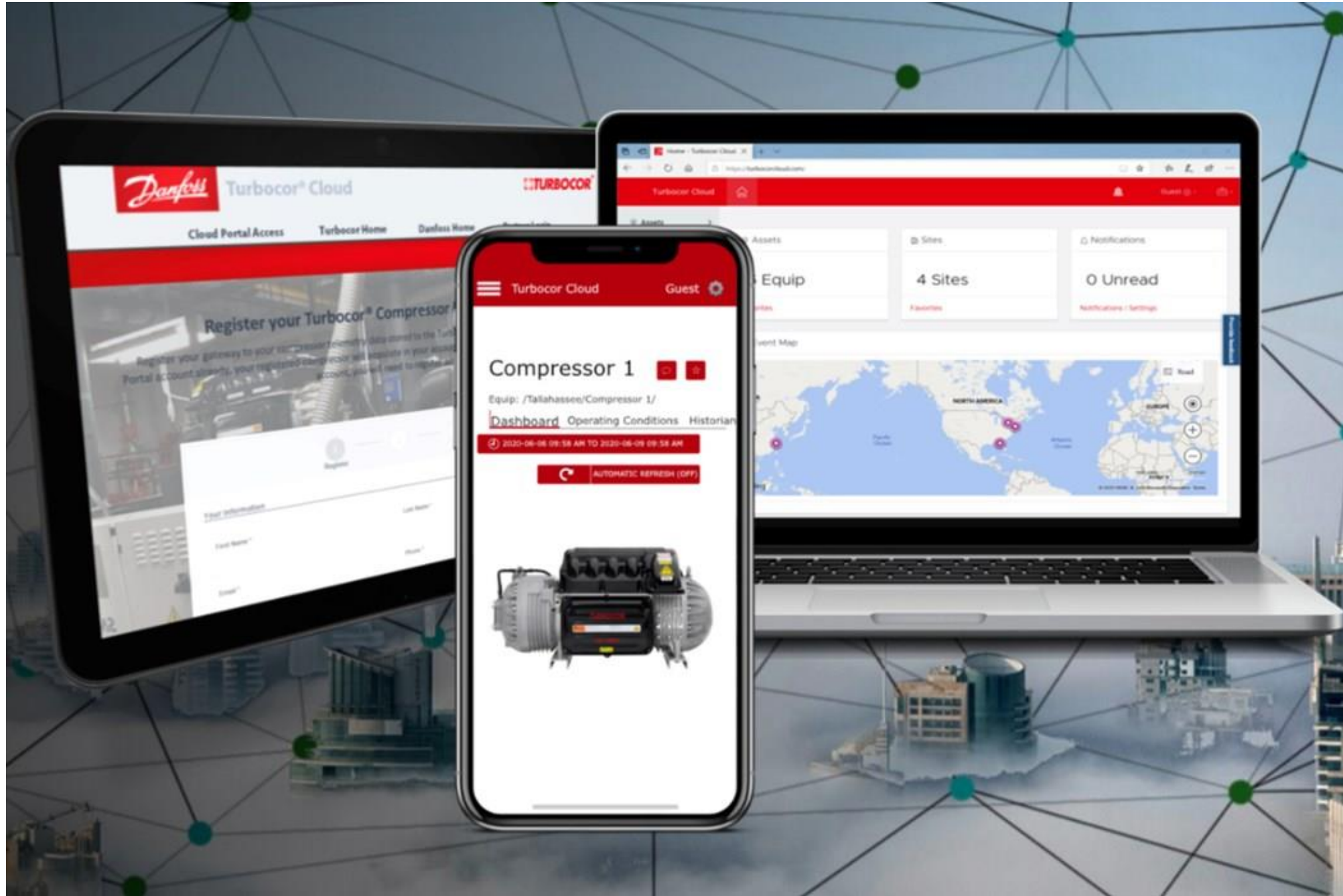
BROAD A/C
远大空调

SMARTD

SHENLING

云服务

- 在线监测性能表现
- 预测维护需求
- 预警故障发生



国内典型案例



天津铁总数据中心



南京电信



中国超算中心



腾讯青浦数据中心



北京汇天云端大数据处理中心



北京国富光启数据中心

国外典型案例



Barclays Bank Data Centre Heathrow



Virtus Data Centre UK



Colo X UK



Forest Rock UK



Turkcell Gebze Data Center



Turkcell Çerkezköy Data Center

磁悬浮冷水机最新在数据中心应用政策

国家绿色数据中心先进适用技术产品目录（2020）

6	磁悬浮变频离心式冷水机组	新建数据中心	磁悬浮压缩机采用电机直接驱动转子，电子转轴和叶轮组件通过数字控制的磁轴承在旋转过程中悬浮运转，在不产生磨损且完全无油运行情况下实现制冷功能。	与常规离心机组及螺杆机组相比，空调系统可节电约 10%-15%。	未来 5 年随规模增加和价格下降，市场占有率可大幅提高。	苏州必信空调有限公司、青岛海尔空调电子有限公司、克莱门特捷联制冷设备（上海）有限公司、南京佳力图机房环境技术股份有限公司	某数据中心：季节综合 COP 可高于 14，运行费用约为传统冷水机组的 47.6%。
---	--------------	--------	--	----------------------------------	------------------------------	--	--

《上海市产业绿贷支持绿色新基建（数据中心）发展指导意见》

B（空调系统）	磁悬浮空调+芯片液冷
	磁悬浮空调+热管冷却
	磁悬浮空调+背板液冷
	磁悬浮空调+芯片液冷
	氟泵空调+微模块
	磁悬浮空调+直流变频行级空调等技术
	磁悬浮空调+集群系统综合调度技术

白皮书

主编单位

- 中国制冷学会
- 华中科技大学
- 丹佛斯（上海）投资有限公司

发布时间：4月8日上午9：30

主持人：江亿 院士

上海新国际博览中心E1-M16会议室

数据中心用磁悬浮压缩机 及制冷机组白皮书

Maglev Compressor and Chiller for Data
Center Cooling White Paper



中国制冷学会
2021 年 4 月



ENGINEERING
TOMORROW