

## 磁制冷技术在家电中的应用展望

# 第二部分 海尔磁制冷技术应用研发例

海尔智家生态平台 超前创新中心

总工程师

俞国新

2019年11月

一、为什么是磁制冷？

二、主要技术课题和方案

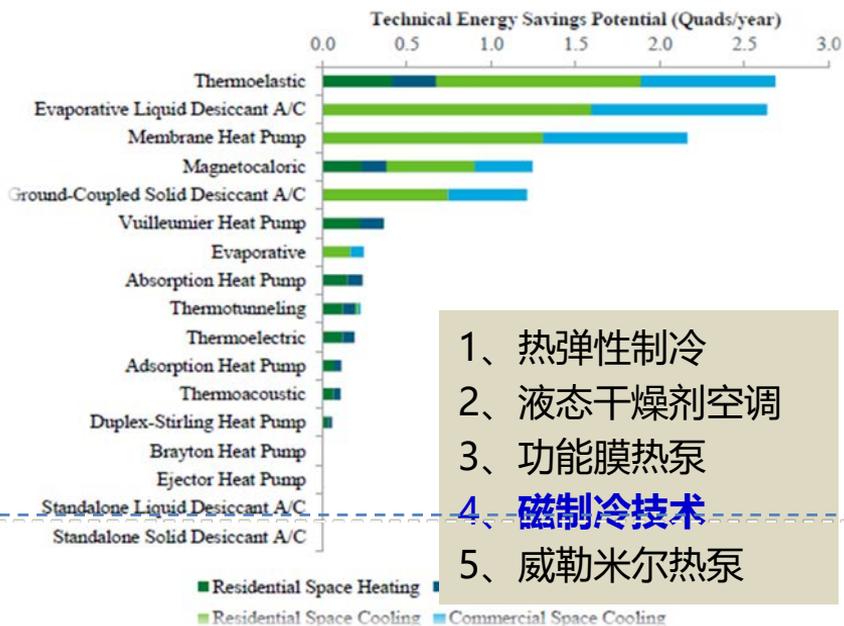
三、展望

2015年1月 美国CES 海尔发布全球首台磁制冷酒柜



## 美国能源部—新型制冷技术分析

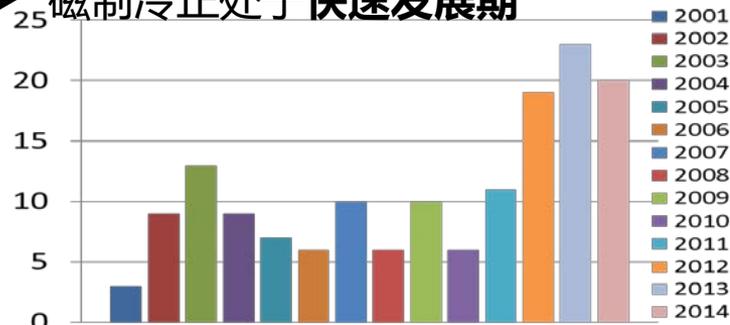
能效排名



- 1、热弹性制冷
- 2、液态干燥剂空调
- 3、功能膜热泵
- 4、磁制冷技术
- 5、威勒米尔热泵

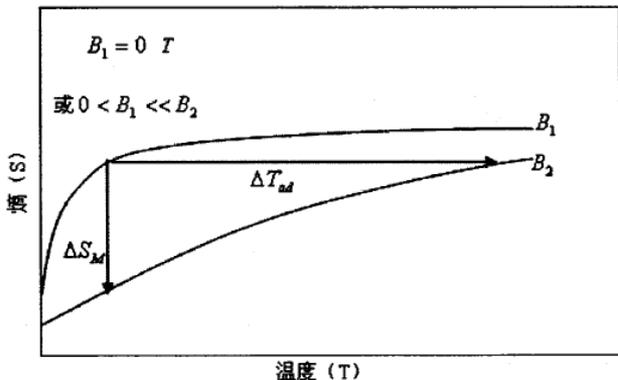
## 磁制冷专利申请

➤ 磁制冷正处于快速发展期



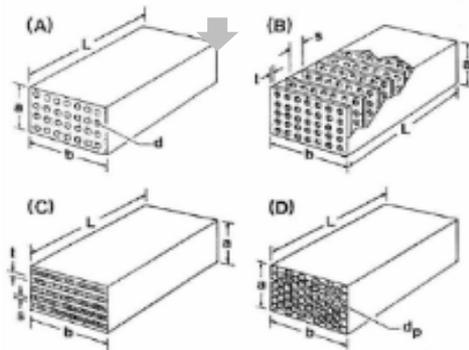
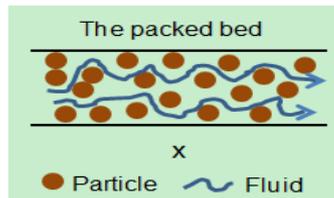
项目	传统制冷 蒸汽压缩	磁制冷
COP/COP <sub>卡诺</sub>	20%	60%
内部环境	高压&高速	常压&强磁场
噪音	大	低
振动	大	低
制冷技术	汽化潜热	磁热效应
热量传输	制冷剂	换热溶液
绿色环保	破坏臭氧/温室气体	无污染
成本	低	高
技术成熟度	商业化	样机开发阶段

## ① 高磁热效应和大温跨的磁热材料



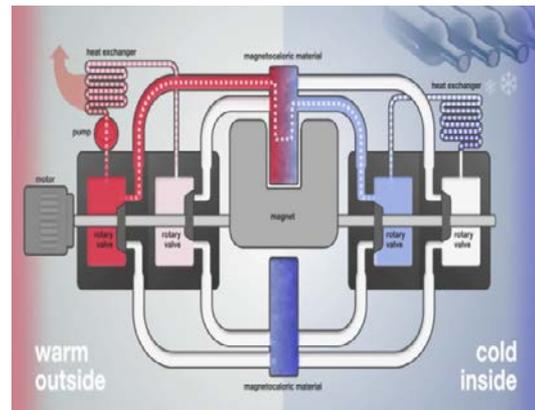
1. 等温磁熵变
2. 绝热温变越大

## ② 高效换热的磁热材料的成型 热弥散效应

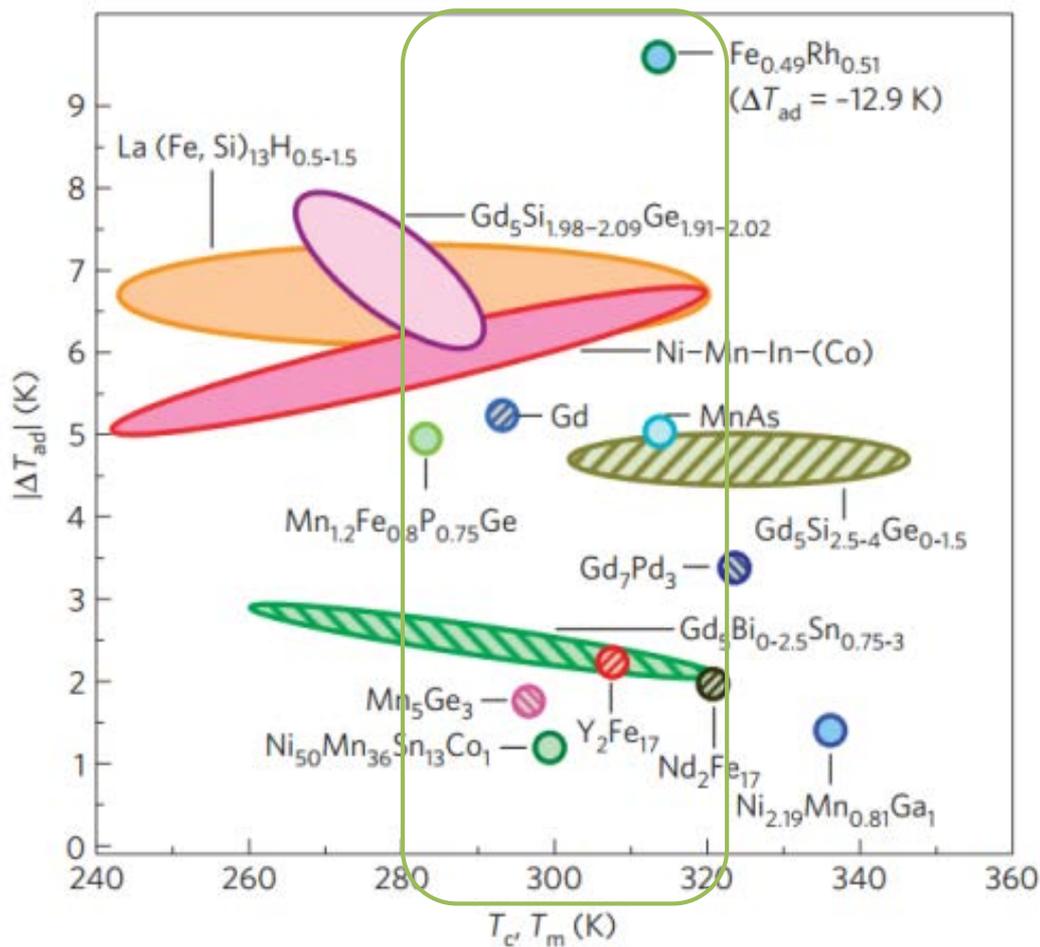


1. 磁材料成型和加工?
2. 如何降低换热损失和热弥散

## ③ 连续换热系统



- 高效连续换热的材料，结构和控制方法



## La(Fe, Si)<sub>13</sub>材料特性

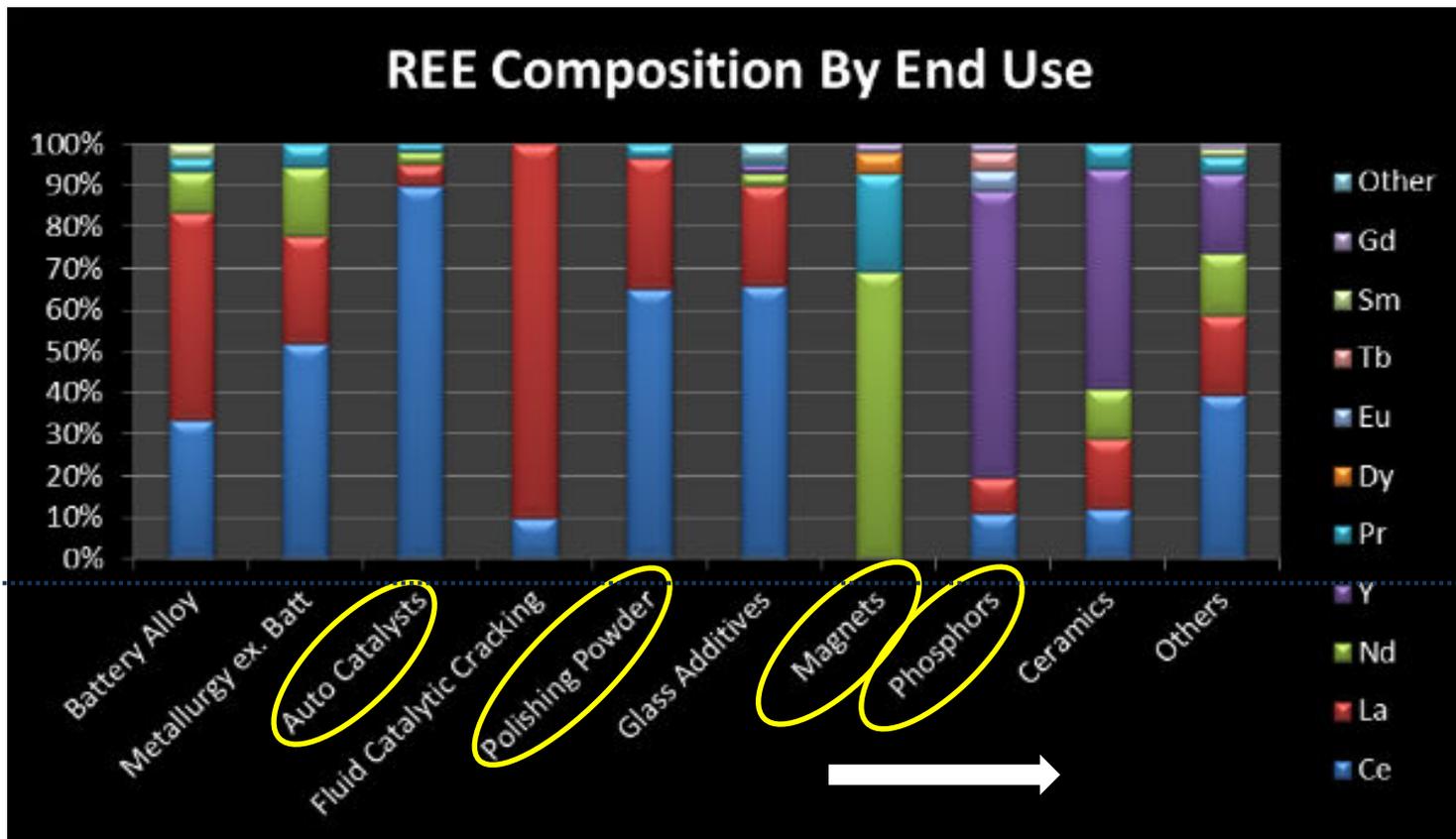
### 优势

- 磁熵变大、温变高、滞后小
- 居里温度连续可调
- 造价低
- 无毒

### 劣势

- 微观偏析严重
- 可加工性差
- 热导系数小

**目的：高导热、可加工、大磁熵变的镧铁硅材料**

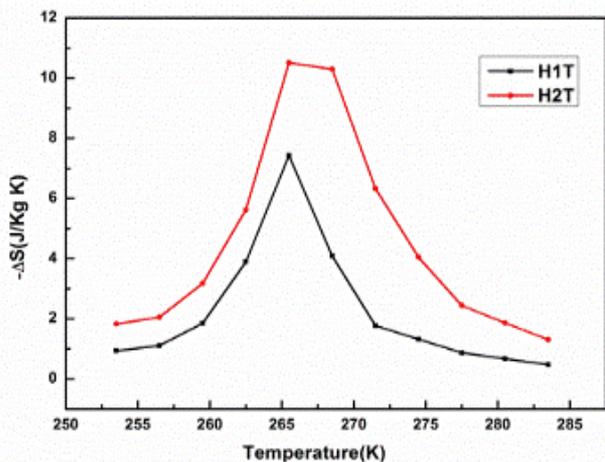


轻稀土镧的应用有利于中国稀土资源的综合平衡利用

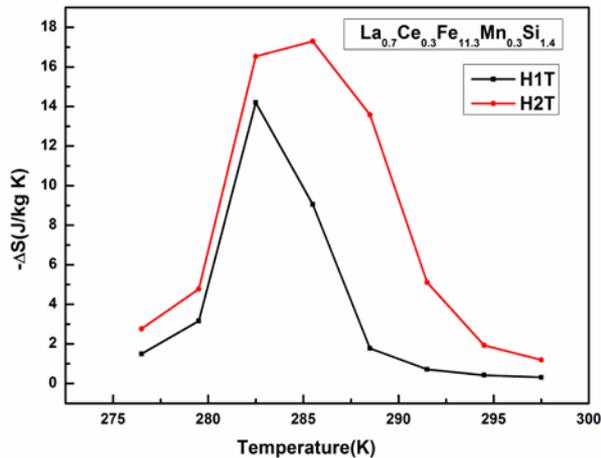
# 1. 设计和制备高磁热效应的新型磁制冷材料 3/3

➤ 利用铈Ce稀土元素取代La，磁热效应增加

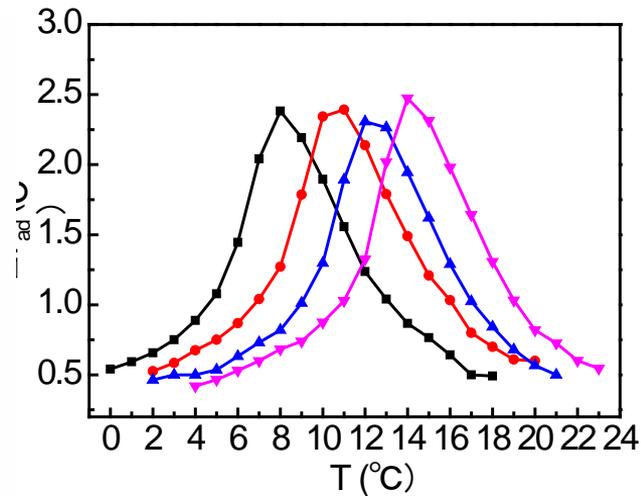
LaFe<sub>11.6</sub>Si<sub>1.4</sub>  
7.43J/kg K@1T



La<sub>0.7</sub>Ce<sub>0.3</sub>Fe<sub>11.3</sub>Mn<sub>0.3</sub>Si<sub>1.4</sub>H<sub>y</sub>  
14.19J/kg K@1T

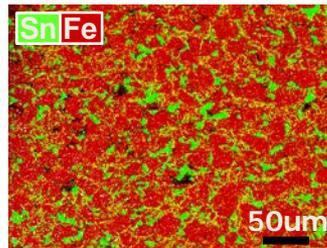


➤ 调节Fe/Mn比例以及在晶格中引入间隙原子H，可实现居里温度的调节，获得不同居里温度的磁制冷材料，并通过材料复叠获得目标温跨。

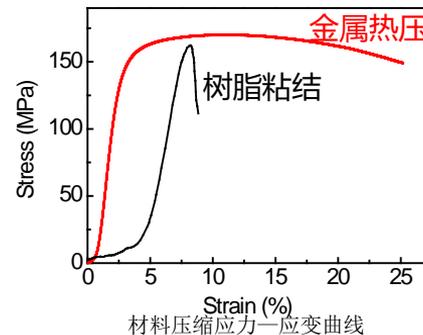


## 2. 制备多层微通道复叠磁制冷材料 1/2

- 针对La(Fe, Si)<sub>13</sub>基巨磁热材料机械加工成型工艺难、导热低的问题，采用低熔点金属Sn复合的方法，获得稀土磁制冷金属双相复合材料。



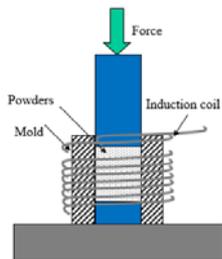
导热系数 (W/mK)	
LaFeSi /Sn 20wt.%	4.9
LaFeSi/树脂	2.26



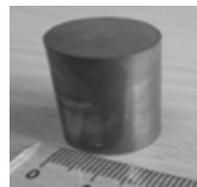
- 进行复合材料热压后，利用线切割技术和粘结技术完成多层微通道复叠结构。



混粉



热压成块



切割成型

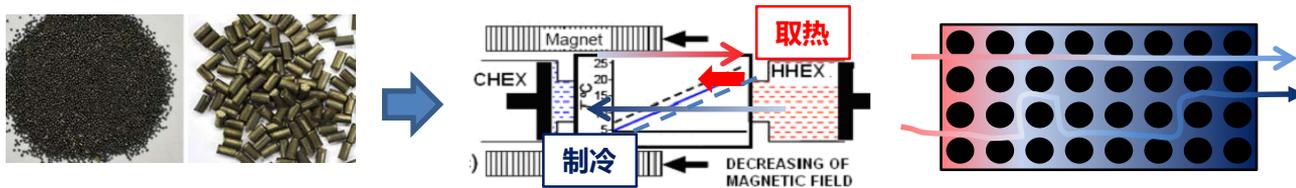


微通道回热器结构

多层微通道磁热材料加工方法

## 2. 制备多层微通道复叠磁制冷材料 2/2

- 填充式磁制冷床为多孔结构，存在换热不及时带来的**内耗**、**热弥散效应**。

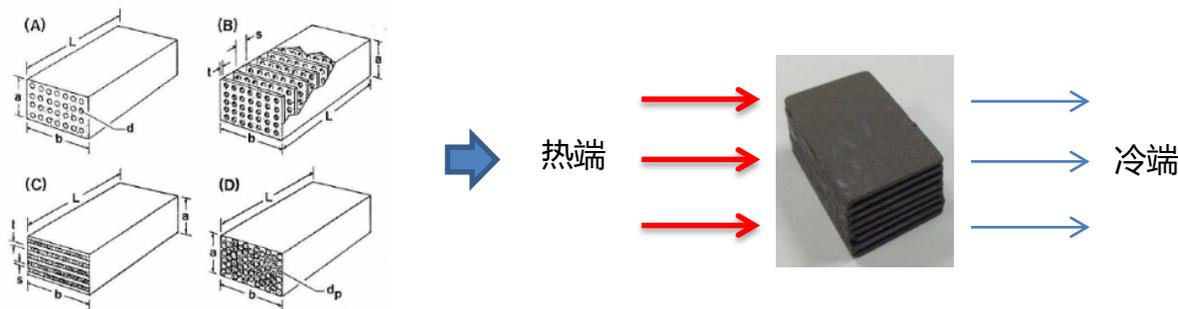


颗粒填充式

内耗

热弥散

- 多层微通道复叠磁制冷材料可使固液换热过程中，液体轴向流动，实际热传导系数增加，避免内耗和热弥散，提高热交换效率。



多层复叠微通道设计

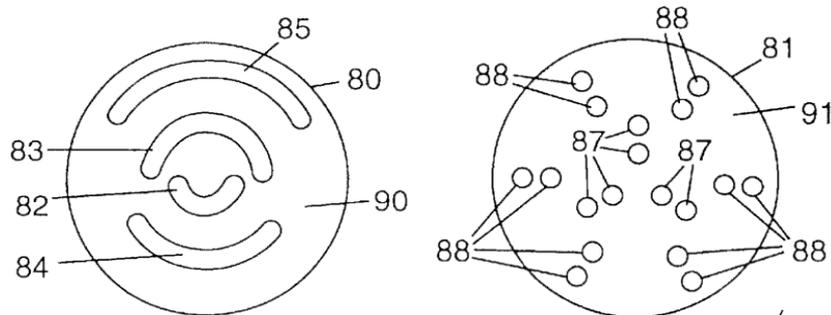
### 3. 磁制冷系统的设计 1/3

- 往复式设计，磁制冷材料需不停的进出磁场，能耗大。
- 单向旋转式、或者电磁阀设计的磁制冷样机，单位体积换热效率低；阀体本身可靠性不高，能耗大。



往复式样机和单向旋转阀样机

- 旋转多向阀，主动磁蓄冷器换热通路与阀的同步耦合——实现连续双向换热，解决换热效率不高的问题。
- 阀体的运动部分和静止部分根据有效的压力调节可实现良好的控制效果，并且不发生泄露现象。



80-静子碟片

90-静子碟片面

82, 83-180度弧形槽，连接冷端换热器

84, 85-120度弧形槽，连接热端换热器

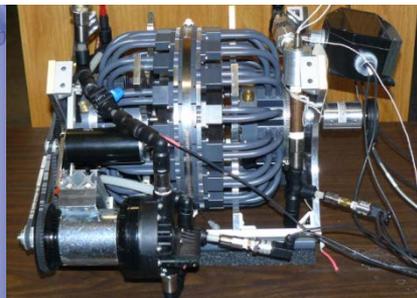
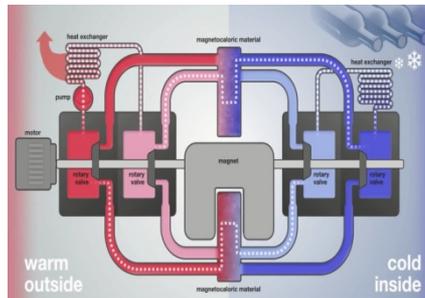
81-动子碟片

91-动子碟片面

87-圆孔，与82、83连通或断开

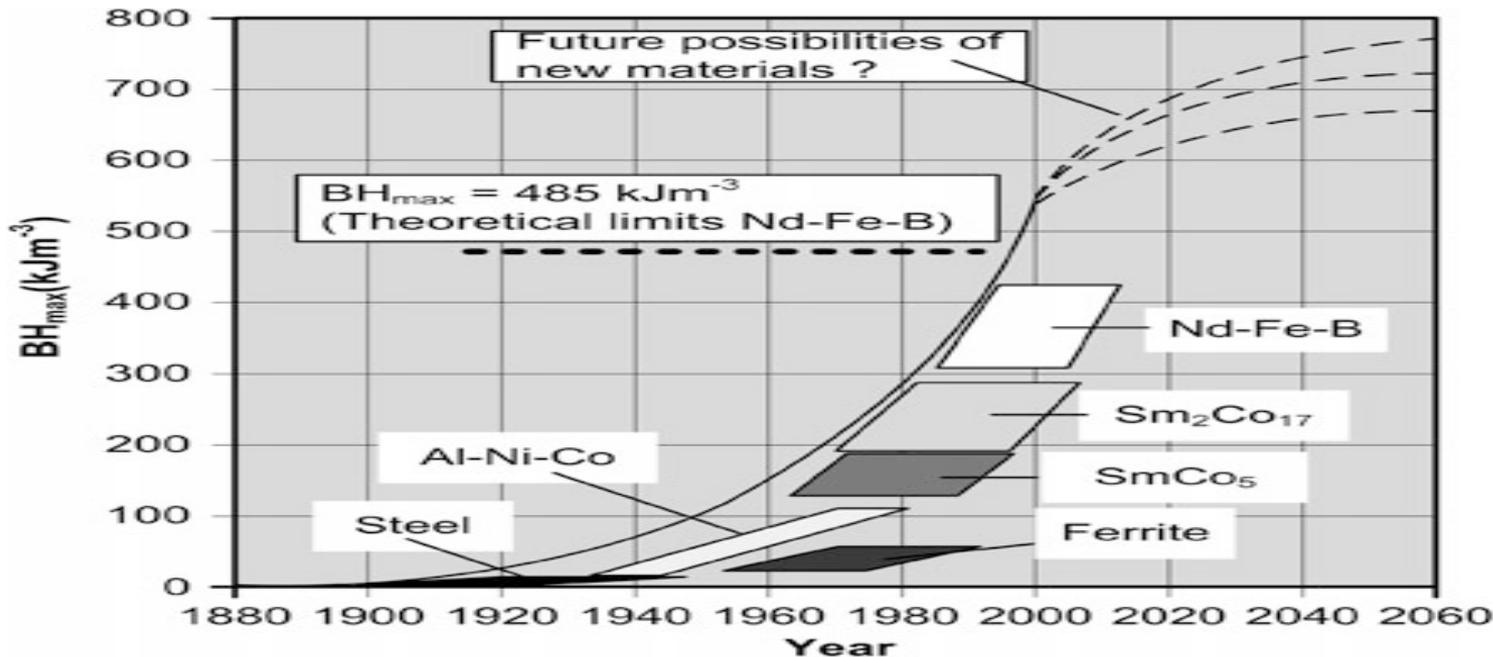
88-圆孔，与84、85连通或断开

碟片型流量分配阀



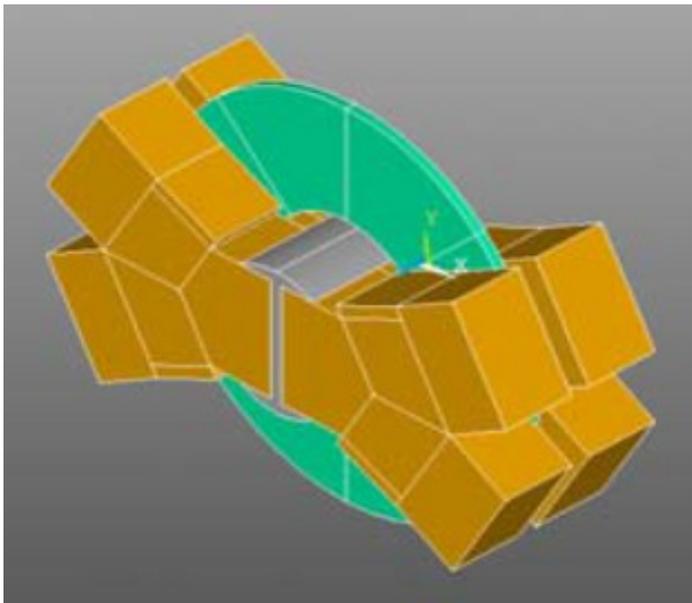
多向阀实现连续双向换热

- 永磁体材料的选择和设计
  - 采用现有能量密度最高的钕铁硼永磁体材料；

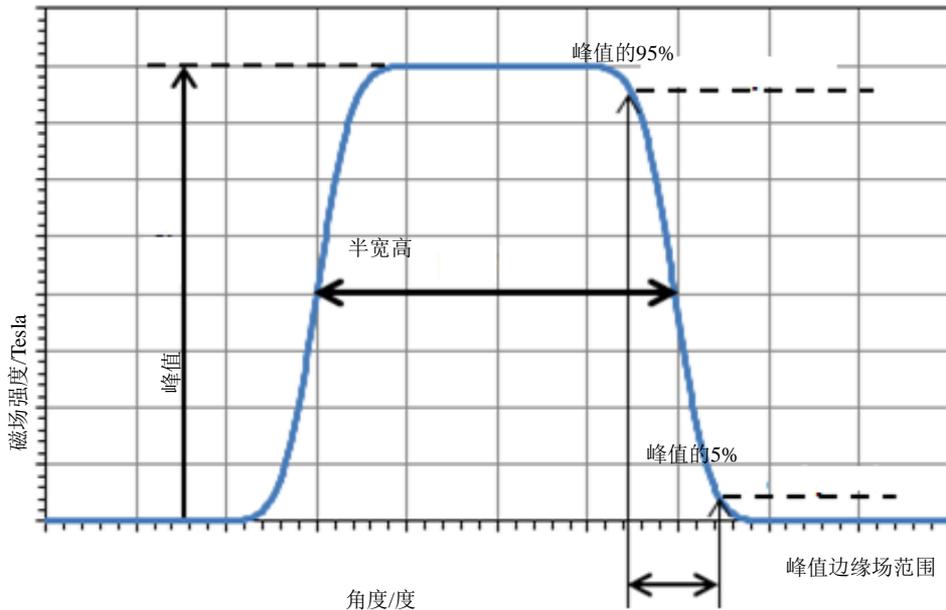


#### ➤ 永磁体材料的选择和设计

- Halbach永磁阵列设计可产生更大的磁场强度；



由上下两块Halbach永磁阵列组成的磁场系统及其磁场随角度变化参数



- 1, 磁制冷技术的特点：高效？低振动？但温跨有限
- 2, 家电的应用：空调？酒柜？
- 3, 大规模应用的技术课题
  - (1) 高效磁材料的设计理论和磁材料研究
  - (2) 磁材料的成型工艺
  - (3) 高效换热系统的设计

上下游企业，校企合作是磁制冷技术在家电中应用的有效路径

# 谢谢!

你的生活智慧 我的智慧生活