

开关磁阻电机的技术难点

AI^C产品项目

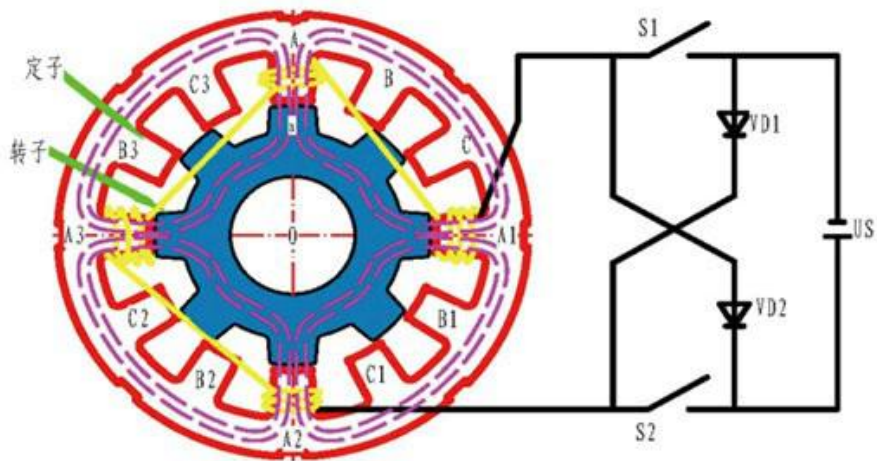


团 队：于可浩团队

企 业：AI^C山东艾磁驱动科技有限公司

第1部分. 技术难点-1

1. 开关磁阻电机是机控一体化产品



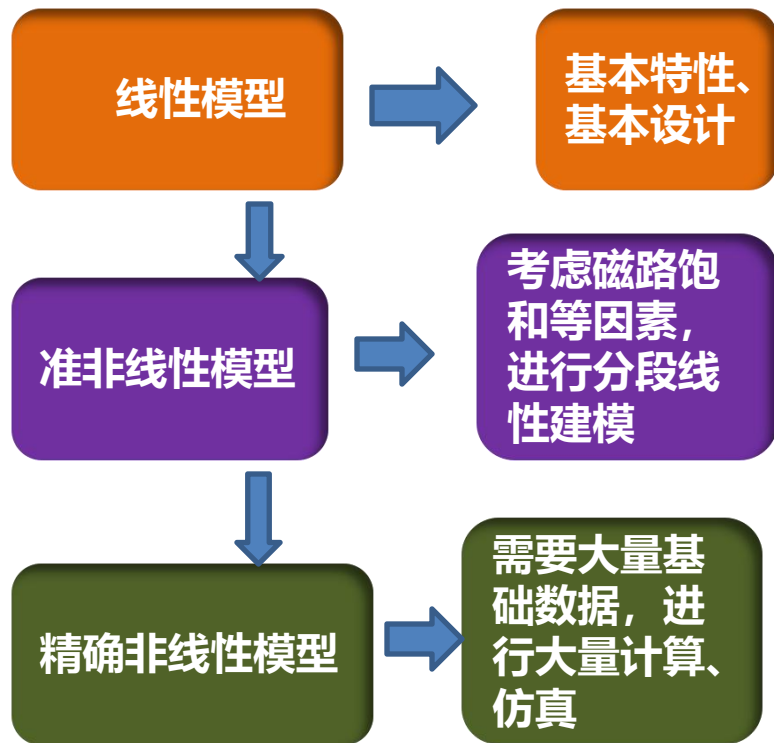
SRD系统是由电机及其控制装置构成的不可分割的整体，设计时必须从系统的观点出发，对电机模型和控制策略综合考虑，进行全局优化设计。单一做电机和控制器，都不能做好。
这是一个不低的门槛。

第1部分. 技术难点--2

2. 开关磁阻电机是高度非线性的时变系统，电流和扭矩关系非常复杂。

SRD工作原理和结构都很简单，但由于电机的双凸极结构、磁路饱和、涡流和磁滞效应，加上电机运行期间的开关性和可控性，使得电机的各个物理量随转子位置变化，定子绕组的电流和磁通波形级其不规则，难以用传统电机的方法解析计算、建模。

电机转矩和电流的复杂解析式



第1部分. 技术难点--3

3. 开关磁阻电机的低速振动和噪音

SRM转子转矩由一系列脉冲转矩叠加而成，加上双凸级和磁路饱和影响，使得合成转矩不是恒定值

SRD是非线性的，传统的平均转矩控制比如电流斩波和角度位置控制，都未考虑非线性和换相时的转矩平滑过渡问题，因此瞬时输出转矩存在较大脉动，特别是低速时的速度振荡。从而成为主要噪音源。

振动和噪音的技术解决复杂性

传统方法

优化定转子极弧宽度、几何形状、工艺。通过电流波形抑制。

深度技术

异型定转子结构（如分布式复数转子），改善气隙磁场分布。

- 1.直接瞬时扭矩控制（不使用任何电流波形来抑制转矩脉动，直接控制任一时刻的瞬时转矩；电流阵列）
- 2.线性化与解耦技术
- 3.其他智能控制

第1部分 .技术难点--4

4. 开关磁阻电机的专用性强

开关磁阻电机是控制类电机，控制参数多而且灵活。需要（便于）根据不同工况需求来设计、开发不同特性的产品。因此，产品的通用性较差，增加了普及难度。（但也是优点）

专用设计 开发工作较繁重

效率优先

转矩优先

大速比直驱优先

高速优先

噪音优先

节电优先

都需要根据实际的工况，设计不同的电机、采用不同的控制策略、动用不同的设计资源。

第2部分 开关磁阻电机的优势

技术复杂的另一方面：开关磁阻电机堪称优异的高速高性能电机系统

结构简单，适合高速运行，高速特性无与伦比：发热集中于定子易于冷却、转子机械强度高、转动惯量小；高速控制算法简单。

综合效率高、功耗少、节能特性优异：很宽的转速和功率范围内具有高输出和高效率、在不同负载下可实现高效优化控制；磁路非饱和状态下，电流随转矩下降成平方下降。

高启动转矩、低启动电流，是最彻底的软启动；响应能力强，频繁正反转；可控参数多

可控参数多，可开发性强，可实现不同功能和特定特性曲线。

开关磁阻电机的高速特性居于所有电机之首

第3部分 BLDC/PMSM/SRM 【概略比较】

BLDC: 反电动势为梯形波、电枢电流为方波的永磁电机通常称为无刷直流电机 (BLDC)

静音效果最好 控制较易开发

PMSM: 反电动势和电枢电流均为正弦波的叫永磁同步电机 (PMSM)

有矢量控制、直接控制等较复杂控制策略和算法。

SRM: 电枢电流可为方波、梯形波或锯齿波, 按照设计目的控制。反电动势波形为方波。低速控制复杂、高速控制简单、可控参数多而灵活



转子: 没有绕组, 硅钢片叠压或粘压而成 定子: 硅钢片叠压而成, 有集中、简单绕组

第4部分： 我公司及技术和产品----开关磁阻电机

AIQ公司成立于2014年，注册地在山东淄博市。

AIQ专注于最新一代高性能开关磁阻电机技术的研发和产品生产。

AIQ团队经过10几年持续研发，建立了完备的技术体系。建立了电流阵列直接扭矩控制算法、变载变速工况下节电算法、大电感开关磁阻电机静音控制策略、多参数自适应调整控制算法、高精度动态数学建模技术等全球范围先进的控制体系和电磁计算技术。

AIQ已经发展成行业内知名的开关磁阻电机企业，也是我国最优秀的电机控制技术领导者之一。



第4部分 我公司技术和产品

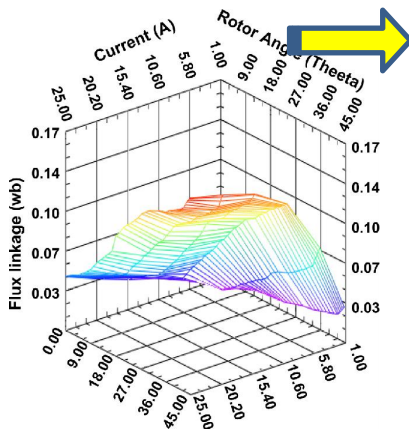
核心能力和优势---技术体系



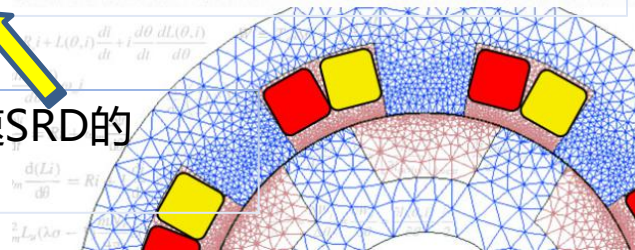
1、建立了电机技术和控制器技术的整体化技术体系（不只做一部分）



2、建立了全球范围先进主流的“电流阵列直接扭矩控制算法”和“变载变速工况下的节电算法”



3、建立了50000转以内超高速SRD的技术体系。



我公司整体技术的体系性、先进性，都处于国内前沿。和国外有大约6、7年的差距。



完成和正在开展的 开关磁阻电机产品和项目（项目群） (研发和产业化系列项目)

项目1: 家电用 12000转直驱SRD 量产项目

我国第1家，为家电领域批量提供SRD产品的公司。70万套产能, 3亿元销售。



项目1： 家电食品机用 12000转直驱SRD 量产项目



生产场景

扩大产能项目

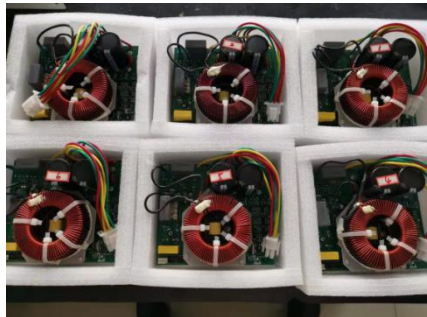
项目2 * 产业链拓展：20万套厨电 多功能食品机 整机项目（前期）



多功能食品机，是一个新的产品体系，3年内将快速成长。需要以开关磁阻电机作为动力，也是最核心技术。目前国内只有我们一家掌握。每年需求量约500万台。这是一个短平快、利润额很高的项目。

项目3：小型机械用（精工设备、木工设备等）SRD量产项目

我国唯一一家，批量出口（美国等）自主知识产权 SRD产品的公司。



该产品代表我国开关磁阻电机的最高技术水平之一，是具有技术影响力的产品

项目3：小型机械用（精工设备、木工设备等）SRD量产项目 应用领域



钻床



锯床



布料机



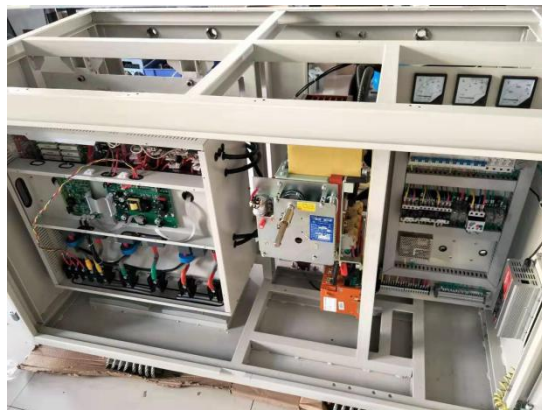
编织机



池塘泵

项目4

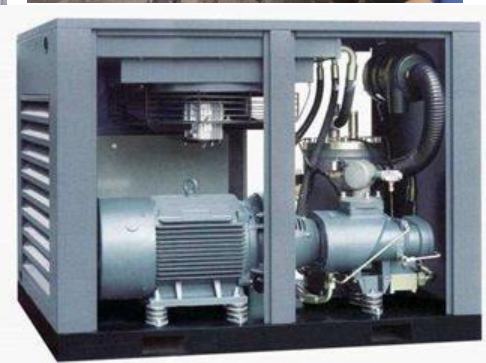
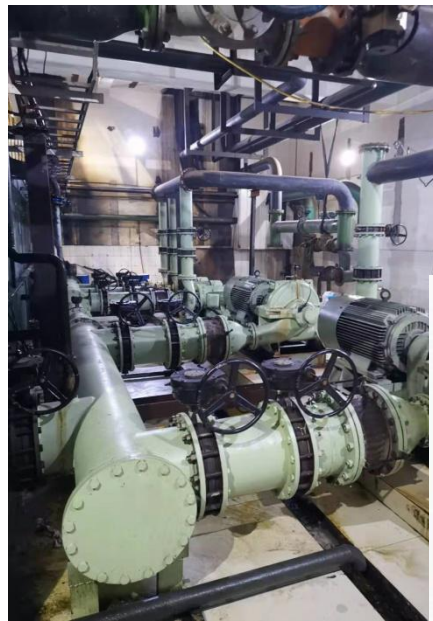
工业设备用 高节能、高性能伺服SRD电机 量产项目



工业领域的电机节能是个大市场。就节电电机而言，SRD具所有电机之首。在变载、变速及轻载的工况下，年化节电率在不同场景，节电从10%到65%。

项目4 工业设备用 高节能、高性能伺服SRD电机项目的应用领域

工业企业领域的电机节能措施，还有70%没有开始，因此潜力很大。



项目5：工程车辆 /作业机械/重型卡车用 大率SRD项目【定型中】



**50kw-200kwSRD 物流
卡车、工程车辆、作业机械，
可节约电池30%，设计寿命
10年以上。是这类车辆最适
合的电机系统。**



项目5：重型卡车/工程车辆/矿山机械 大率SRD项目

这是今后的一个重点领域
SRD最为适合 国外已经应用



美国卡特彼勒、
日本小松

开关磁阻

Cat's 980K XE wheel loader features a high-efficiency electric-drive system with a switched reluctance system.



项目6：30000转高速大功率磁悬浮轴承开关磁阻电机项目（技术定型中）



30000转110kw开关磁阻电机及其控制。使用磁悬浮轴承、水冷冷却、全数字控制。

目前技术平台搭建完毕，进入定型阶段。具有全球一流水平。

项目6：30000转高速大功率磁悬浮 开关磁阻电机项目（技术平台建设中）

110kW—30000r/min 6/4极

Ds=260 Dsi=158

单边气隙=1.0

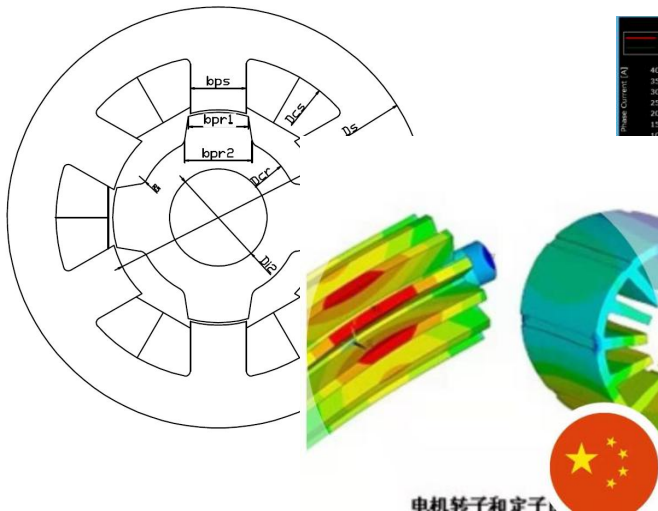
bpr2=45.3680 铁长=***

每相并联支路数=* 每极匝数=** 线规=** 并绕根数=**

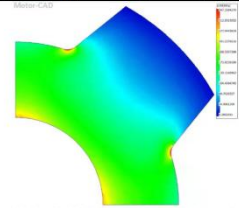
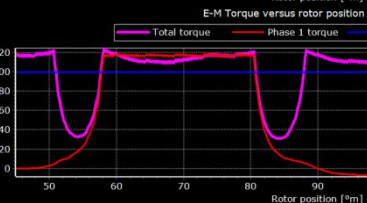
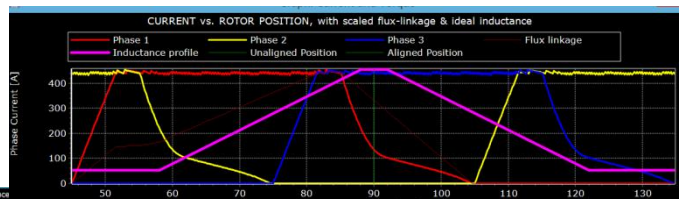
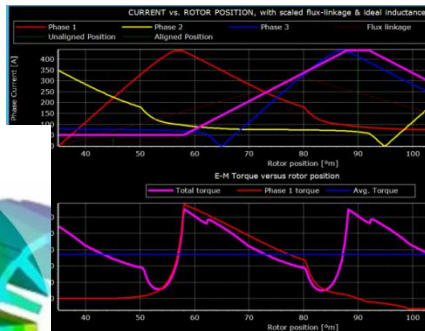
槽满率=**%总铜重=** kg

bps=40.8934 Dsc=212

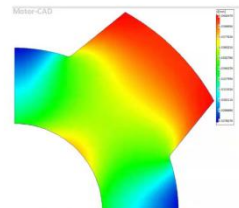
Dr=156 Dri=60 Dcr=112 bpr1=42.9994



电机转子和定子



应力分布图：转子磁轭磁轭半径R5，转子磁轭前应力最大为34.7Mpa，小于允许应力（400Mpa），转子最大应力分布在齿顶，最大应力圆角半径减小，齿顶圆角半径R5，转子应力最大小于允许应力。



应力图：转子磁轭圆角半径R2，最大应力圆角R0.04mm，-气隙长度35%。

510Vdc 25000rpm：提前**°开通，导通*
限流440A，输出转矩48Nm，125kW
铜耗 624W，铁耗16198W，电密
***A/mm²

项目6：25000转高速大功率非晶合金SRD电机项目（测试中）

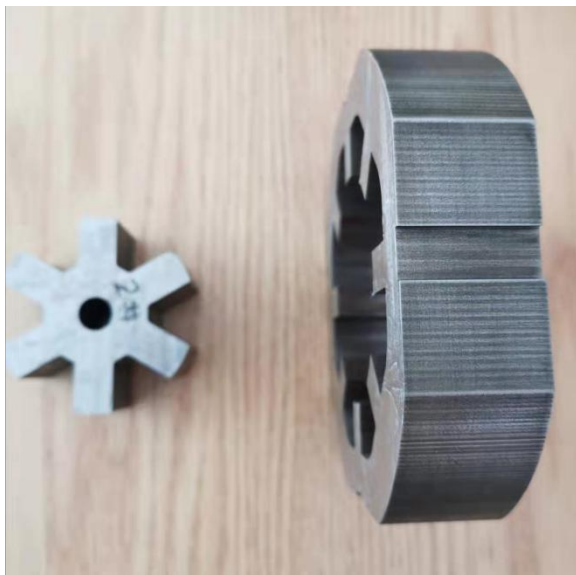


25000转22w开关磁阻电机及其控制。使用铁基非晶合金材料。这是国内首创、国际同步的先进电机科技项目。

项目是 国家自然科学基金国际合作项目
**NSFC-DFG(中德)：电动汽车用高速非晶合金开关磁阻电机
(78-5171101324)。**

我们是参与单位，受哈尔滨工业大学、委托，负责控制器系统的研制。

使用铁基非晶合金材料的高速开关磁阻电机项目，同时正在和清华大学合作。



项目6：氢燃料电池高速压缩机用100000转开关磁阻电机项目



油电混动动力总成系统



纯电动动力总成系统



10万转
压缩机

氢燃料电池动力总成系统。

这三个系统都需要高速电机，其中氢燃料系统的压缩机需要10万转以上的电机。开关磁阻电机是第一选择。
这也是AIQ下一阶段的开发目标

项目6：高速大功率开关磁阻电机项目 应用领域举例



涡轮

工业废热发电等领域



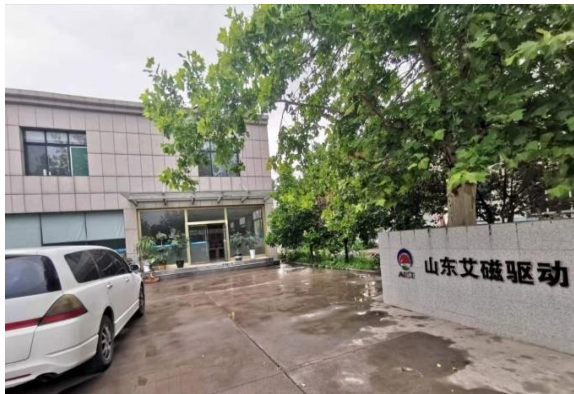
鼓风机



高速压缩机



公司场景——研发和生产





硬科技改变格局 谢谢!

