

# ICSC 2017

CAE for virtual product

CAE for innovation

CAE for process transformation

IDAJ CAE Solution Conference

## 基于Jmag的汽车驱动电机的退磁性能分析

中国第一汽车集团公司新能源开发院

演讲人:林展汐

1

**Jmag退磁分析功能介绍**

2

**驱动电机用永磁体材料特性分析**

3

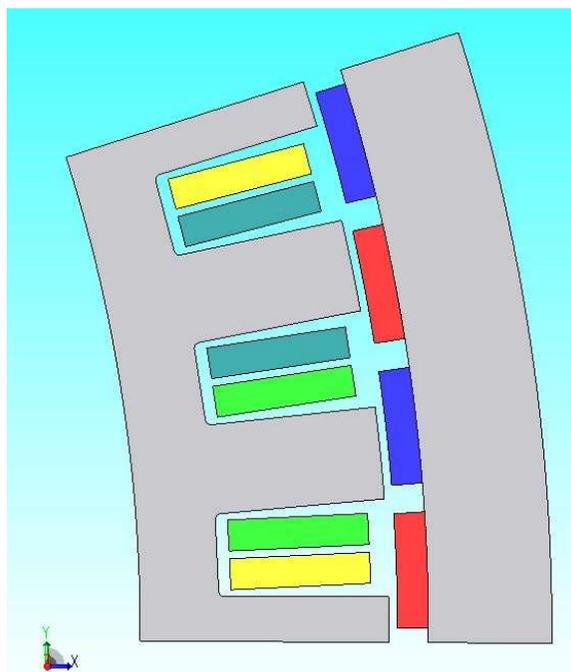
**驱动电机用永磁体退磁评价参数分析**

4

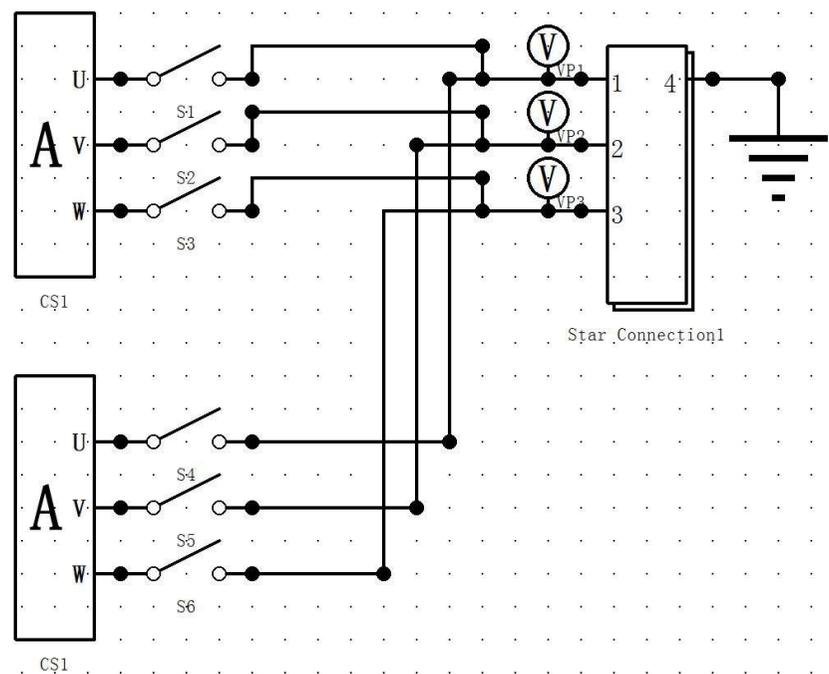
**驱动电机用永磁体退磁影响因素分析**

# 1、Jmag退磁分析功能介绍

- 相比于其它的电机电磁CAE软件，Jmag Designer软件中永磁体材料退磁曲线数据齐全，并且可以精确计算在磁场作用下永磁体内部多种参数。除此之外，借助绕组模型中的开关功能，结合永磁材料退磁曲线，可以模拟出永磁同步电机在退磁前后的工作特性。



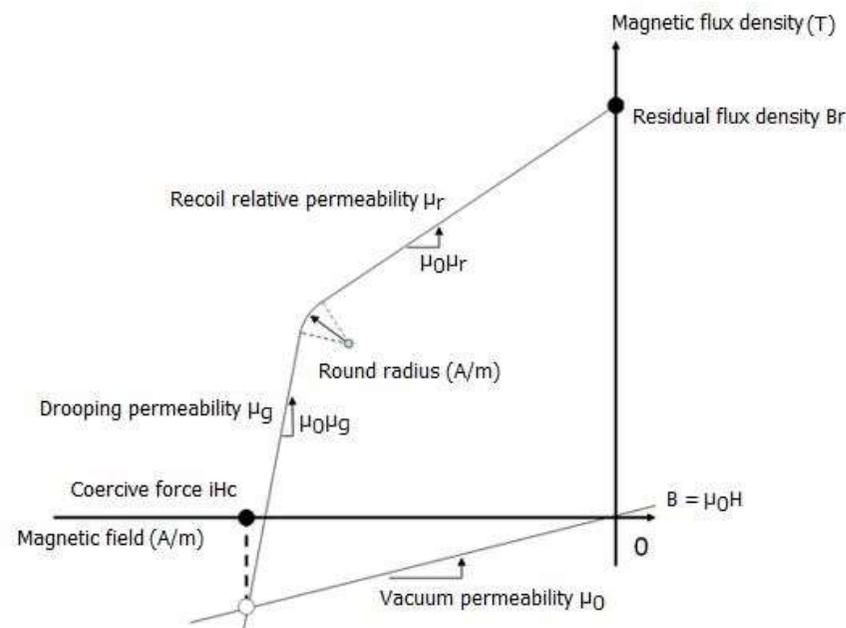
电机拓扑结构



电机绕组设置

# 1、Jmag退磁分析功能介绍

- Jmag软件材料库中，其退磁曲线由永磁体剩磁 $B_r$ 、相对回复磁导率 $\mu_r$ 、下垂磁导率 $\mu_g$ 、矫顽力 $H_c$ 等参数构成，通过以上参数可以准确的模拟出永磁体材料的退磁特性。

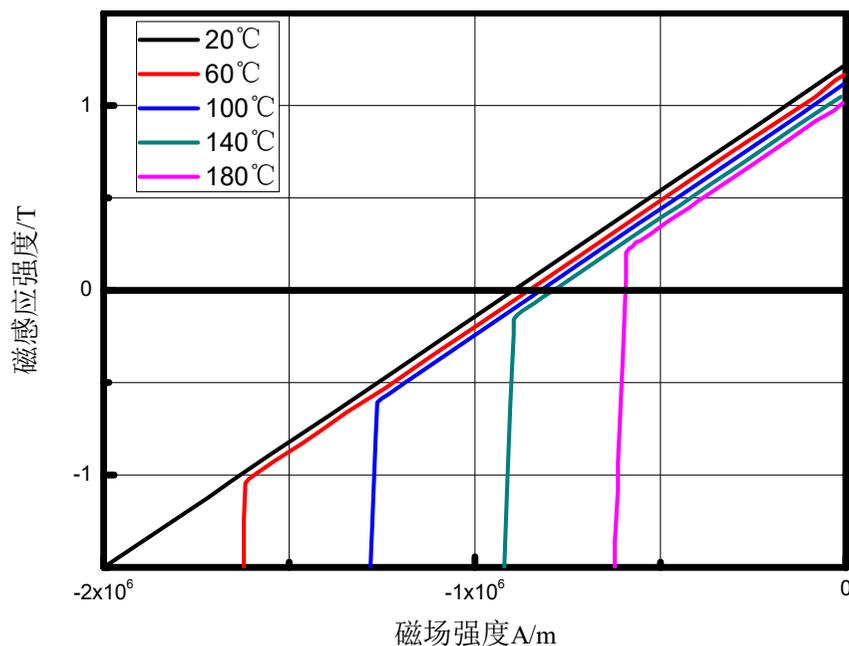


Jmag软件中永磁体退磁曲线

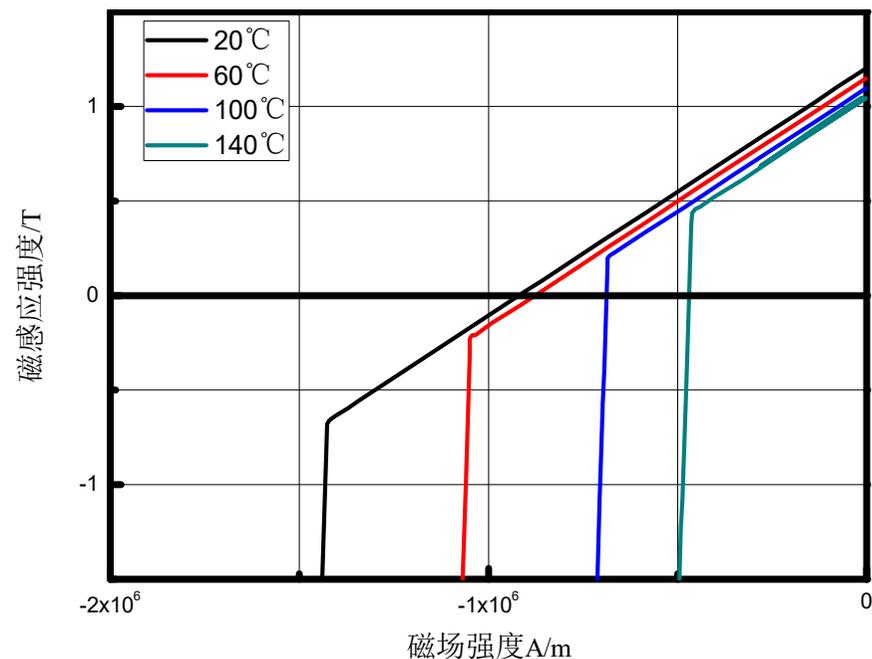
- 1 Jmag退磁分析功能介绍
- 2 驱动电机用永磁体材料特性分析
- 3 驱动电机用永磁体退磁评价参数分析
- 4 驱动电机用永磁体退磁影响因素分析

## 2、驱动电机用永磁体材料特性分析

- 永磁材料的退磁曲线受到永磁材料牌号和工作温度影响，下图为NEOMAX-35EH和NEOMAX-35H各温度下的退磁曲线。同一材料，随着温度的升高永磁材料退磁拐点上移，永磁体更容易发生退磁。
- 同一温度下，35EH退磁拐点的磁场强度的绝对值更大，这说明35EH需要施加更大的退磁磁场才能使永磁体发生退磁，35EH的抗退磁能力强于35H。



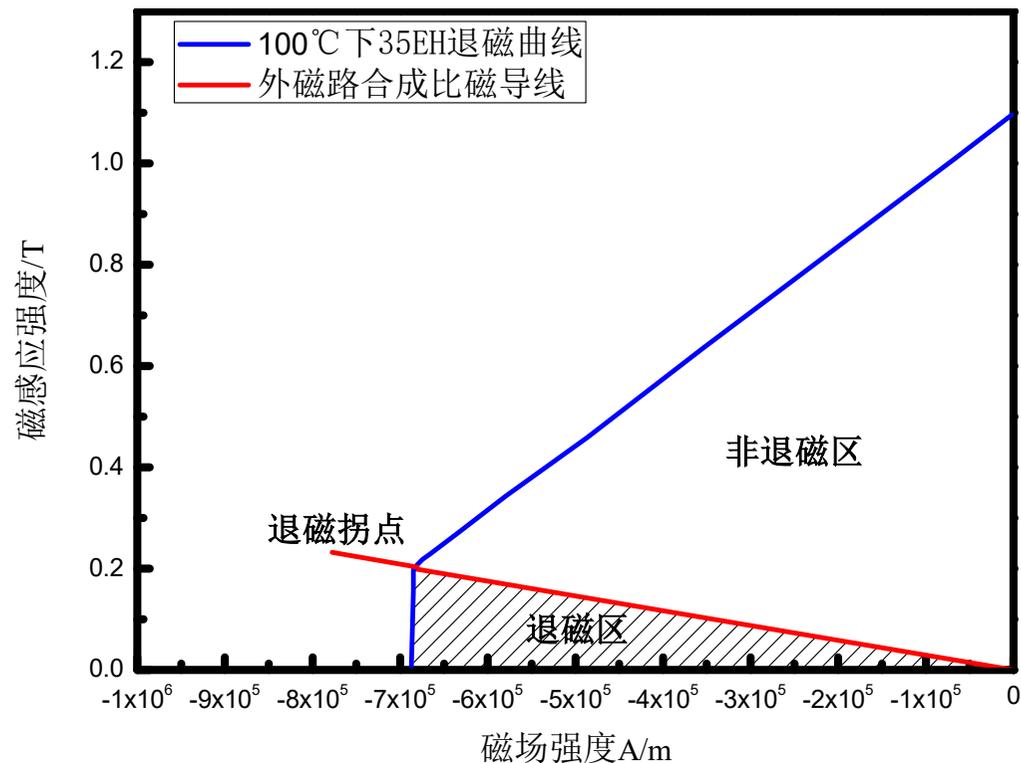
35EH各温度退磁曲线



35H各温度退磁曲线

## 2、驱动电机用永磁体材料特性分析

- 除了永磁体的工作点，永磁体的比磁导值也可以判断永磁体是否发生退磁。通过解析方法可以得到永磁材料外磁路的合成比磁导线，与退磁曲线的交点即为永磁体的工作点。因此，通过计算退磁拐点比磁导值，就可以得到永磁体退磁临界值，并将其作为衡量永磁体是否发生退磁的重要依据。



1

Jmag退磁分析模型介绍

2

驱动电机用永磁体材料特性分析

3

驱动电机用永磁体退磁评价参数分析

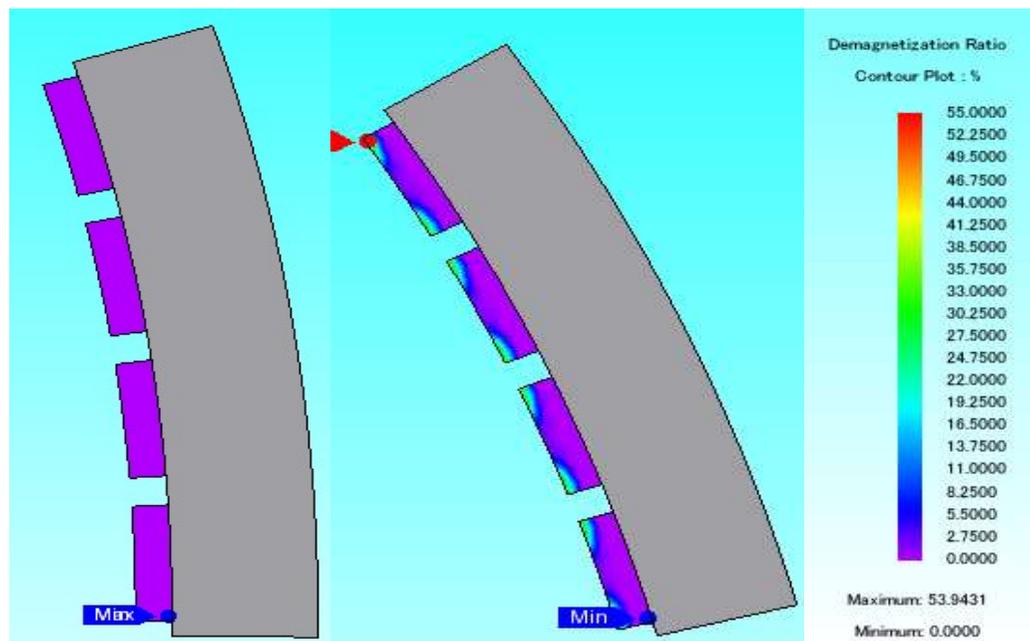
4

驱动电机用永磁体退磁影响因素分析

## 3、驱动电机用永磁体退磁评价参数分析

### 3.1 退磁评价参数1——退磁率

- 退磁率是Jmag软件中评价永磁体是否退磁最直观的参数，通过观测退磁率云图可以看出永磁体发生退磁的区域和退磁程度，左图永磁体全区域的退磁率均为0，说明电机在正常工作电流作用下没有发生退磁。右图永磁体退磁电流作用下有部分区域发生退磁，靠近气隙以及永磁体两侧发生退磁。

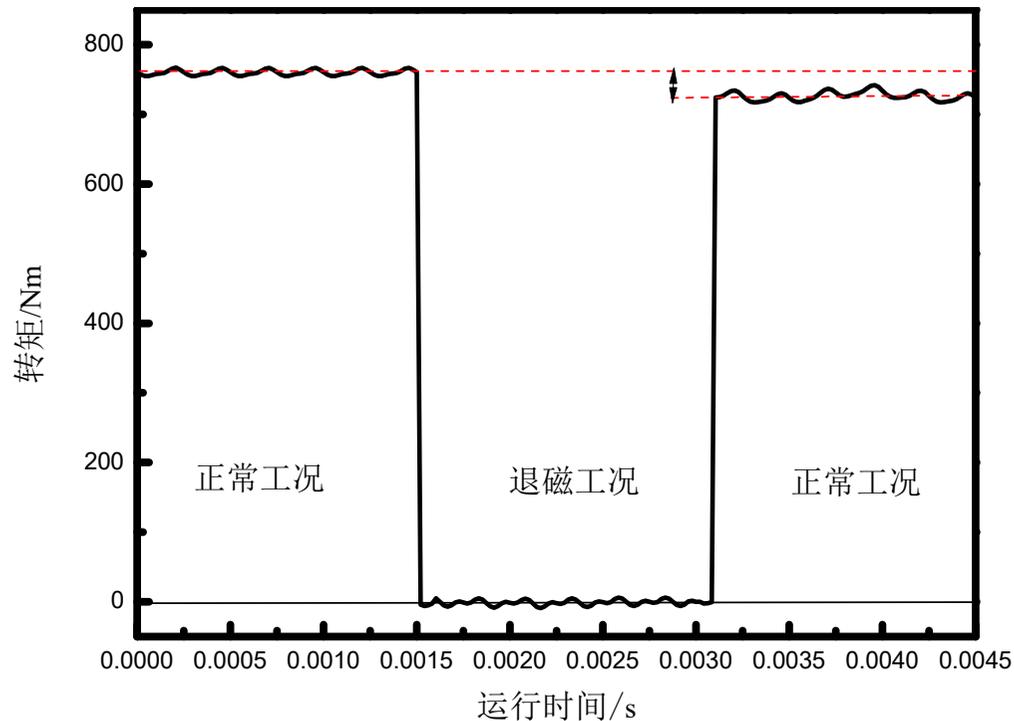


永磁体退磁前后的退磁率云图

## 3、驱动电机用永磁体退磁评价参数分析

### 3.2 退磁评价参数2——转矩波形

- 当永磁体发生退磁后，其磁性能会降低，进而造成电机转矩输出能力的下降以及稳定性的降低，因此通过比较前后的输出转矩波形，就可以评价永磁体是否发生退磁。

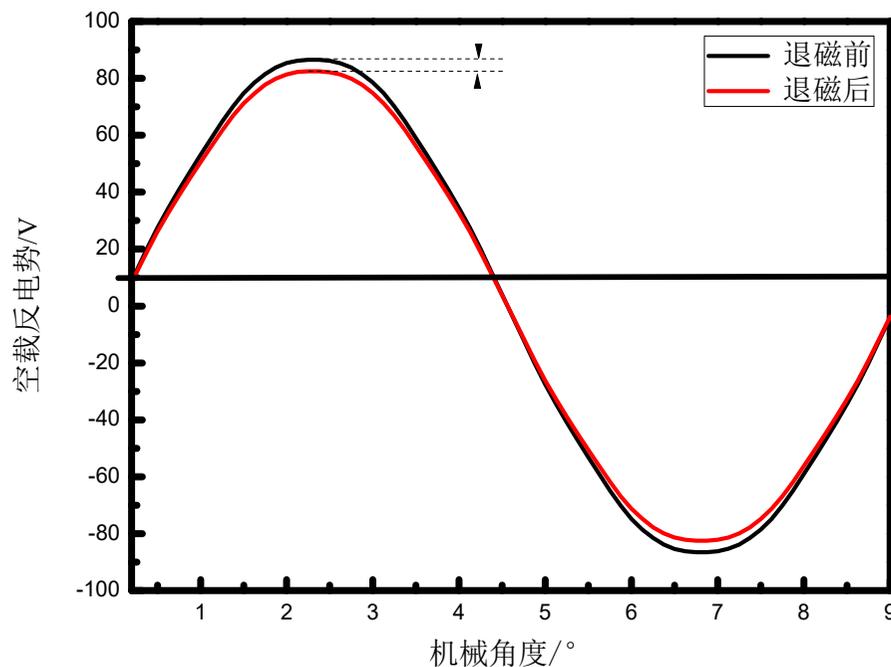


永磁体退磁前后的转矩波形

## 3、驱动电机用永磁体退磁评价参数分析

### 3.3 退磁评价参数3——空载反电势

- 永磁体发生退磁后，其工作点会发生偏移，其产生的空载主磁通也会发生变化，而空载反电势正比于空载主磁通。因此，通过评价前后的空载反电势，可以间接的评价永磁体退磁情况。

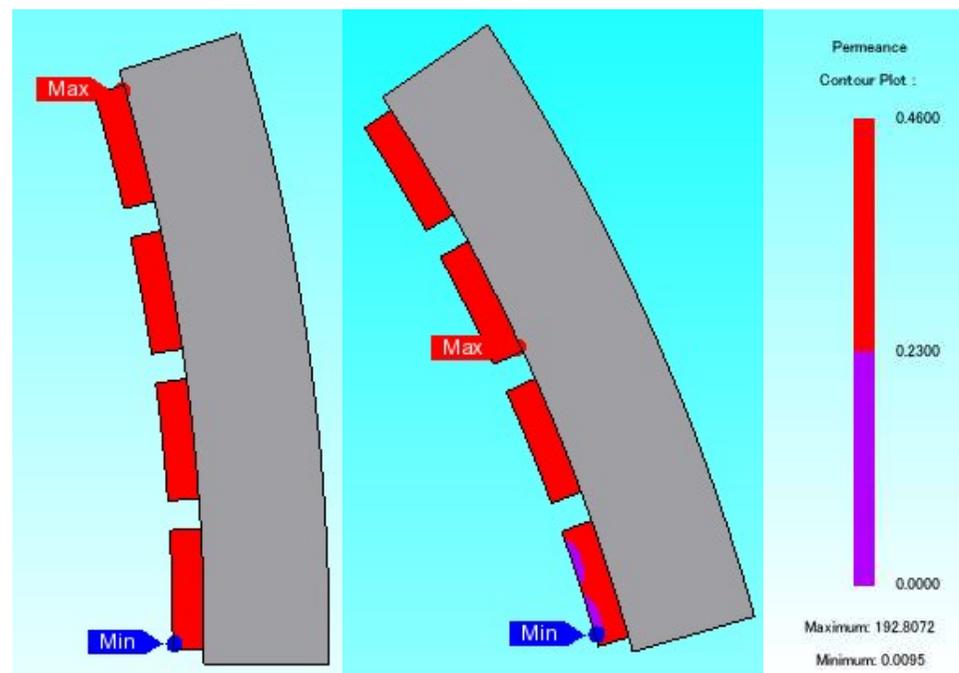


永磁体退磁前后的空载反电势波形

### 3、驱动电机用永磁体退磁评价参数分析

#### 3.4 退磁评价参数4——比磁导

- 通过解析方法可以计算退磁拐点的临界比磁导值，通过比较永磁体各位置点的比磁导值与临界比磁导值之间的关系判断永磁体是否发生退磁。

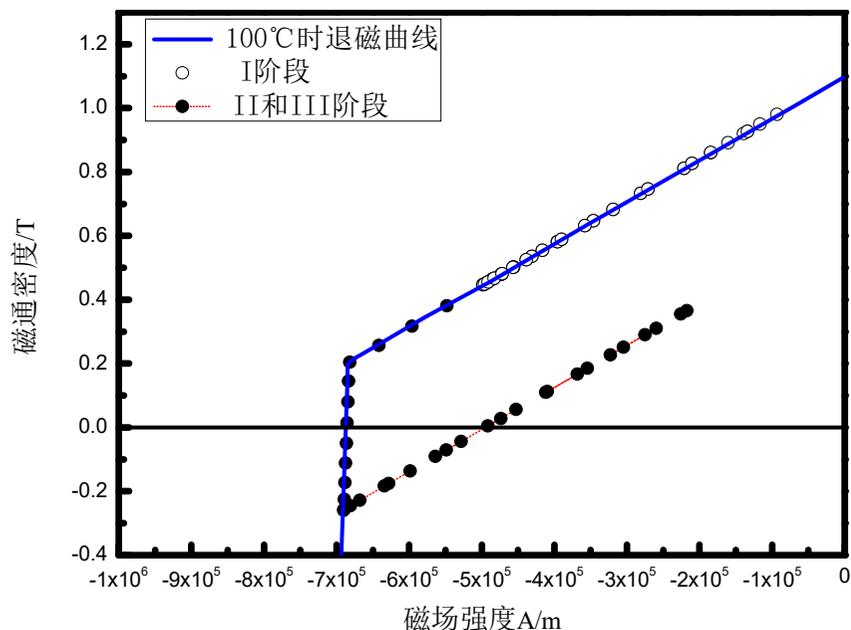
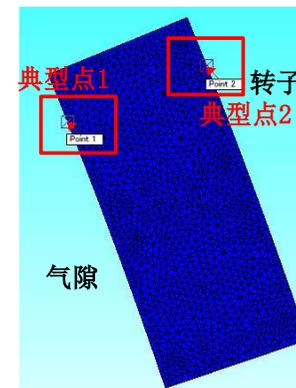


永磁体退磁前后的比磁导分布图

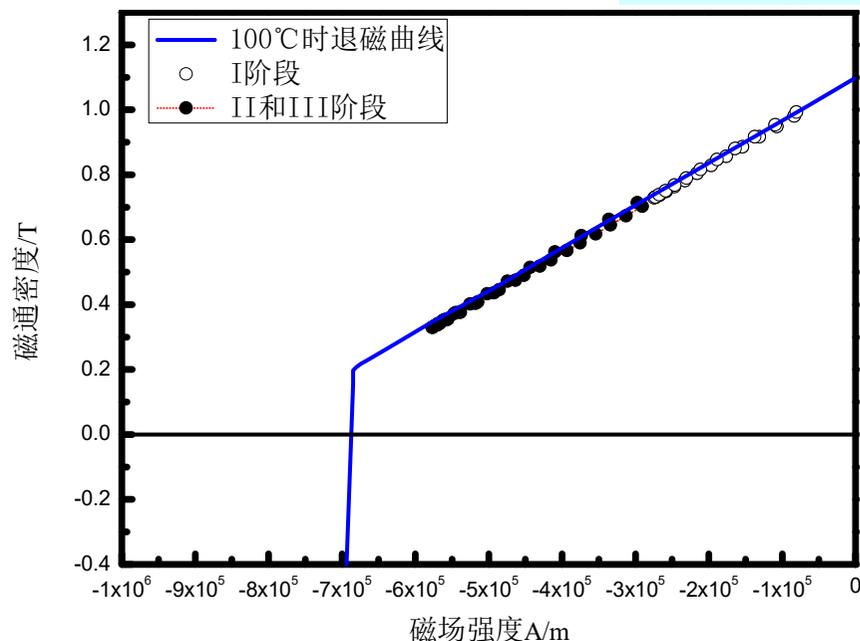
## 3、驱动电机用永磁体退磁评价参数分析

### 3.5 退磁评价参数5——永磁体工作点

- 永磁体工作点代表永磁体在退磁曲线中的位置，通过判断工作点与退磁拐点、回复线的相对位置关系，可以评价永磁体退磁情况。
- 分别在永磁体靠近气隙和远离气隙的位置选取典型点1和典型点2，对两点的工作点分布进行记录。



典型点1工作点曲线



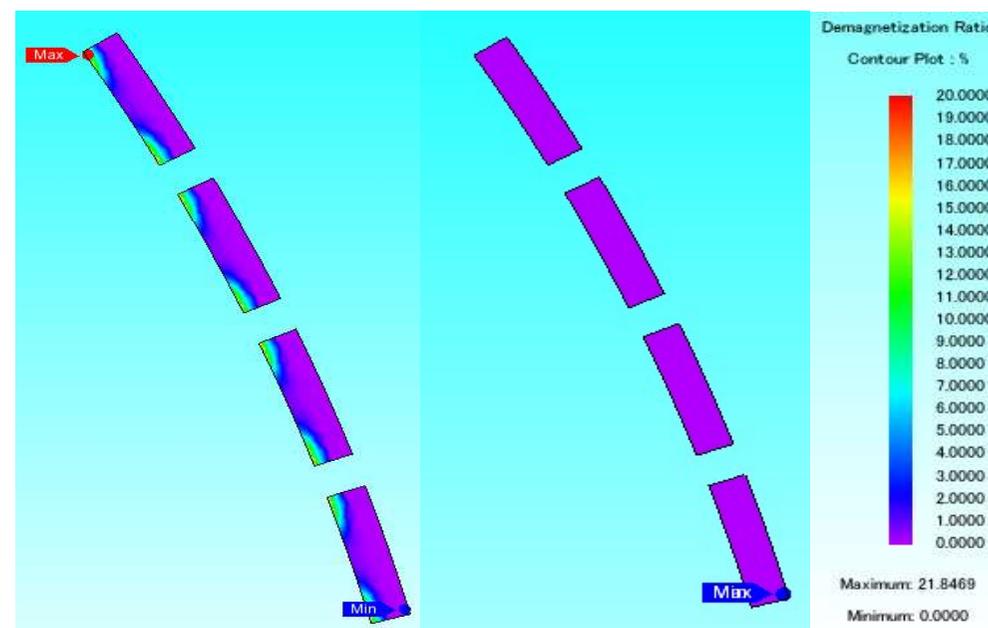
典型点2工作点曲线

- 1 Jmag退磁分析模型介绍
- 2 驱动电机用永磁体材料特性分析
- 3 驱动电机用永磁体退磁评价参数分析
- 4 驱动电机用永磁体退磁影响因素分析

## 4、驱动电机用永磁体退磁影响因素分析

### 4.1 永磁体牌号

- 35H永磁体边角部位发生了退磁，而35EH永磁体没有发生退磁，说明提高了牌号，提高了永磁体内禀矫顽力，增强了永磁体抗退磁能力，提高了永磁体退磁拐点临界值，在相同退磁磁场作用下，规避了永磁体退磁风险。



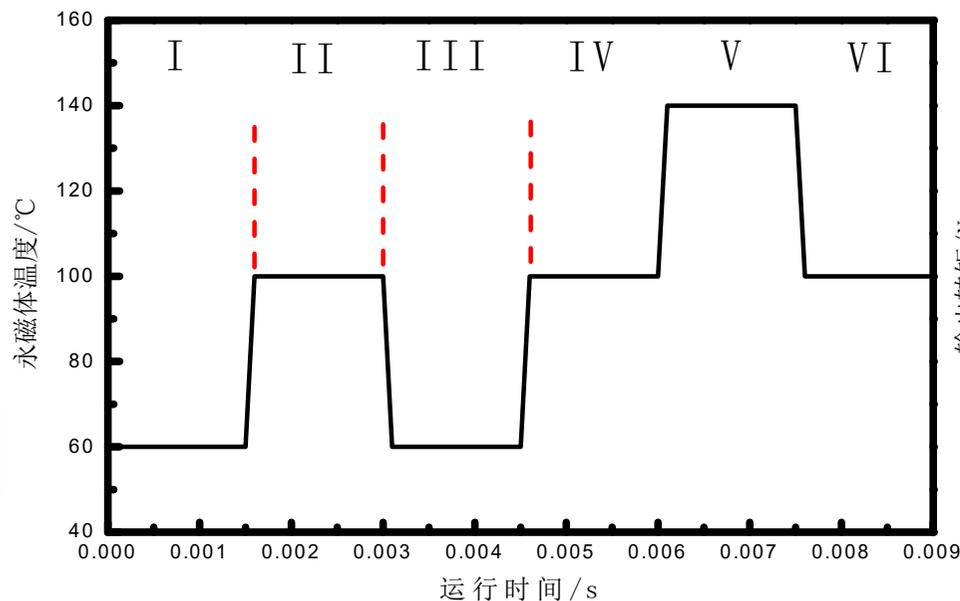
35H磁极退磁率云图

35EH磁极退磁率云图

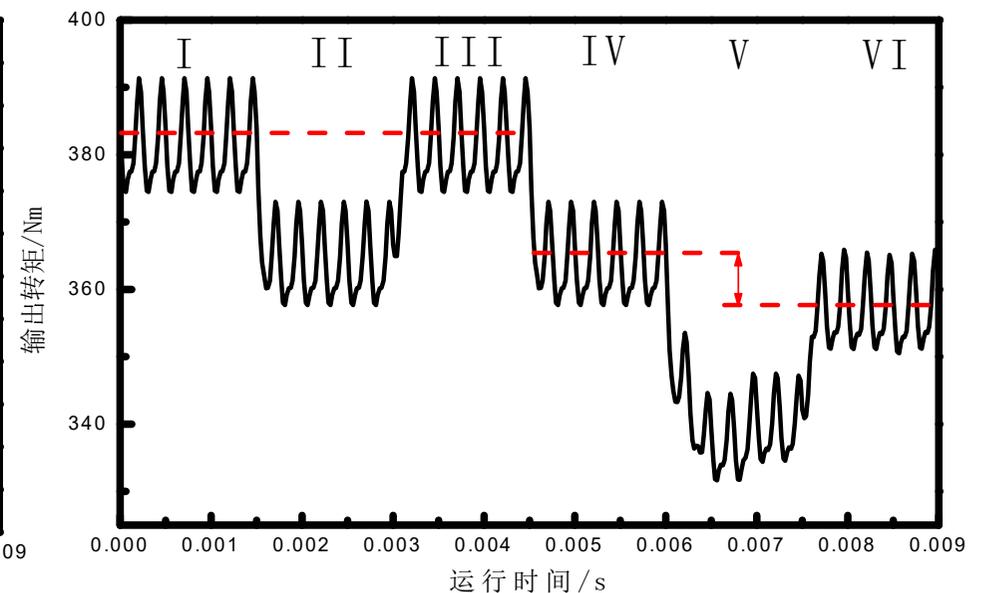
## 4、驱动电机用永磁体退磁影响因素分析

### 4.2 永磁体工作温度

- 随着永磁体工作温度的升高，磁性能逐步降低，升至某一温度时，磁化强度消失，该温度称为该永磁材料的居里温度。钕铁硼永磁材料居里温度低，随着工作温度的升高，其抗退磁能力也会大大降低，永磁体容易发生不可逆退磁。



温度变化曲线

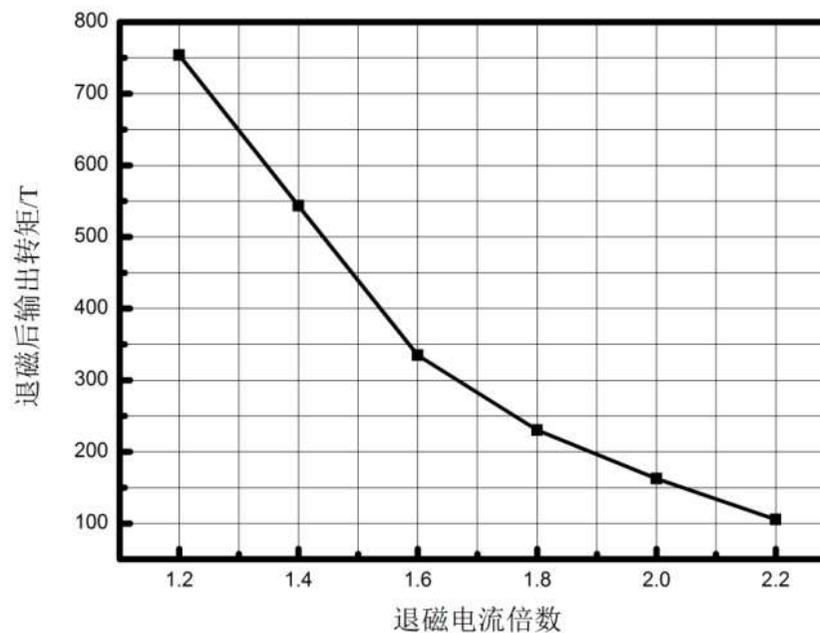
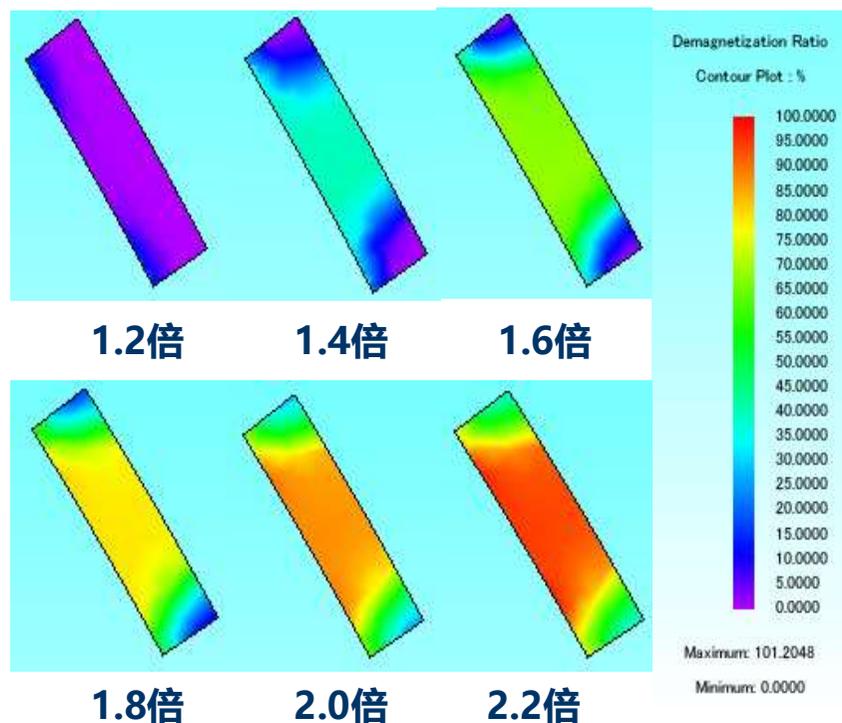


电机输出转矩随温度变化曲线

## 4、驱动电机用永磁体退磁影响因素分析

### 4.3 退磁磁场

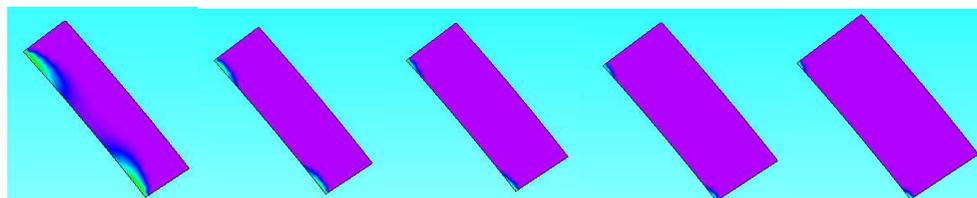
- 永磁体退磁与否与退磁磁场的大小和方向息息相关，而退磁磁场除了与定子绕组匝数相关以外，还与退磁电流的幅值和相位有关。分别通入1.2倍、1.4倍、1.6倍、1.8倍、2倍、2.2倍退磁电流，分析永磁体退磁情况。



电机退磁后输出转矩

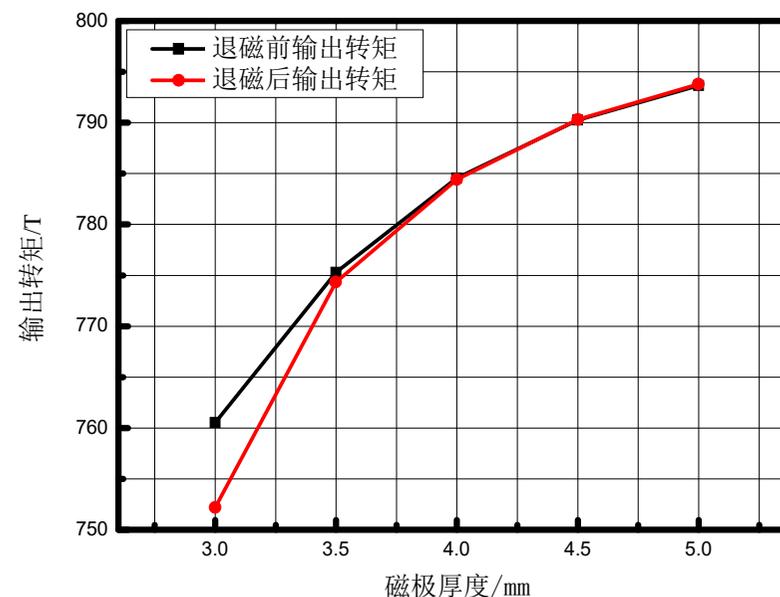
## 4、驱动电机用永磁体退磁影响因素分析

### 4.4 永磁体自身尺寸



3mm 3.5mm 4mm 4.5mm 5mm  
不同厚度永磁体退磁率分布图

- 在永磁体设计时，要充分考虑永磁体退磁情况。当工作温度与退磁磁场确定之后，如果永磁体厚度过薄会有永磁体退磁的风险，如果过厚，会造成材料的浪费以及扩速能力的削弱。因此，借助Jmag有限元软件可以很好地找到永磁体厚度的最优值，为电机设计提供理论指导。



电机退磁前后输出转矩随磁极厚度变化曲线

# Thank You!



关注微信公众号，推送年会报告早知道