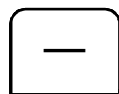


# 神奇的旋转磁场

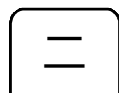
—— 姜昊茗 PB13000422  
王哲成 PB13000338  
宁一凡 PB13206050  
王光涵 PB13206017

旋转磁场是由多相交流电产生的磁场，其特点是磁感应矢量在空间中以交流电的频率匀速旋转。它是从电磁能量到机械能转换的关键。同时旋转磁场也广泛应用于异步电动机、感应电压调节器等电磁学装置中。



## 哥伦布蛋的电磁学与力学原理

- 单圈通电环产生的磁场
- 三相绕组模型中的磁场
- 哥伦布蛋的动力学机制



## 不平衡旋转磁场理论



## 旋转磁场的磁悬浮



## 旋转磁场演示实验

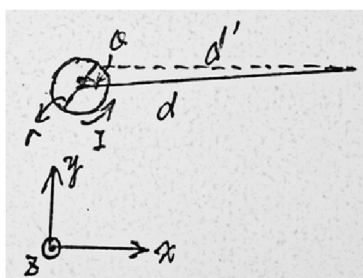
在1893年的芝加哥哥伦布纪念博览会上，物理学家 Nikola Tesla 为演示他修建的交流电设备而创造哥伦布蛋，用来展示和解释旋转磁场模型和异步电动机的原理。

在绕组中通以各相交流电可以在中心产生旋转磁场，旋转磁场使得磁通量变化，可以在中心处的导电蛋上产生感应涡流。通过感应涡流与磁场作用后，导电蛋获得一个旋转力矩，由 Lenz 定律易知导体会按相同的方向随磁场转动。导体蛋由于陀螺效应而直立，最终在磁力矩与摩擦力矩下平衡。

**以下进行定量分析：**

一、哥伦布蛋的电磁学与力学原理

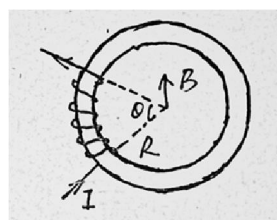
### 1. 单圈通电环产生的磁场



一、哥伦布蛋的电磁学与力学原理

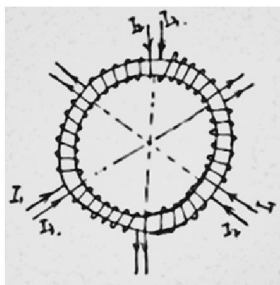
### 2. 三相绕组模型中的磁场

三相绕组模型中的一组线圈绕组如右图所示



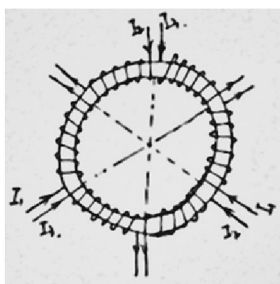
一、哥伦布蛋的电磁学与力学原理

## 2. 三相绕组模型中的磁场



一、哥伦布蛋的电磁学与力学原理

## 2. 三相绕组模型中的磁场

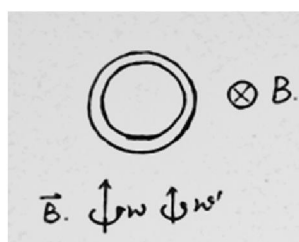


由上式可知如图中所示的绕组通以相应的三相电流后在环中心的合磁场。是一个以交流电频率匀速顺时针均匀旋转的磁场。

一、哥伦布蛋的电磁学与力学原理

### 3. Columbus蛋的动力学机制

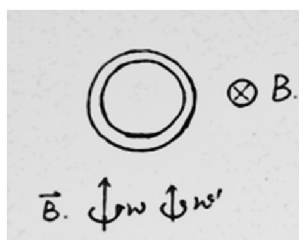
3  
2



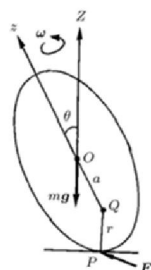
一、哥伦布蛋的电磁学与力学原理

### 3. Columbus蛋的动力学机制

以上驱动和平衡机理的分析对导电蛋也同样适用。不同之处在于旋转的加速过程，由于感应电流在导电蛋中所受几何约束很少，相对其他导体，导电蛋的加速过程会更快，也就是说更容易旋转。



一、哥伦布蛋的电磁学与力学原理



摩擦力作用下的导电蛋

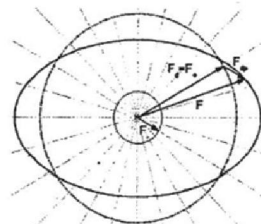
要解释哥伦布蛋的直立旋转现象，仅依据旋转磁场的电磁感应还不够充分。因为电磁感应只能驱动铁蛋旋转，但不能使铁蛋直立不倒。

实际上铁蛋直立不倒的能力来自与旋转磁场不相干的摩擦力作用。当铁蛋在电磁力矩驱动下旋转起来时，铁蛋端部与托盘的接触点产生相对托盘的滑动，与滑动方向相逆的库伦摩擦力形成对质心的力矩影响了铁蛋的运动。可以直接分析刚体稳定的情况，因为此情况下摩擦力力矩与磁力力矩近似抵消，为刚体转动的欧拉—潘索情况，导电蛋近似为椭球，其主转动惯量最大的惯量主轴即为椭球长轴为稳定转动轴故最终导电蛋会直立稳定转动。

## 一、哥伦布蛋的电磁学与力学原理

在两相电流产生的旋转磁场中，如果各相电流不平衡，可用对称分量法把电流系统分解为正序电流系统和负序电流系统。正序电流系统产生一个正向圆形旋转磁场，负序电流系统产生一个反向圆形旋转磁场。一般情况，两个磁场振幅大小不等，其合成磁场矢量的末端轨迹为一椭圆形，故名椭圆形旋转磁场。

二相电流产生磁场如下：

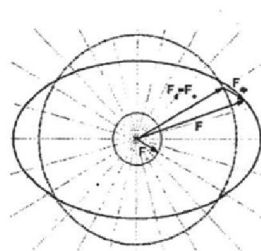


双向旋转磁场的合成

## 二、不平衡旋转磁场理论

## 二、不平衡旋转磁场理论

这个结论也可以推广到一般的多相（包括两相）电机，多相即多个旋转磁场叠加。此理论对电动机的研究有极大的作用。

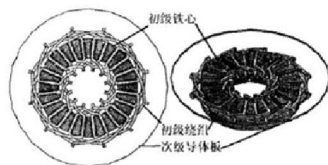


双向旋转磁场的合成

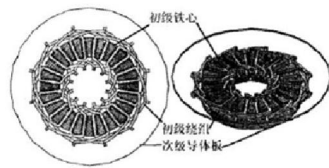
## 三、旋转磁场的磁悬浮

从定性的角度进行分析，很容易能得到旋转磁场的磁悬浮特性将装置分为初级装置和次级装置（如图），当在初级系统中通入如第一节中的三相交流电，则可在铁芯的气隙中得到旋转磁场，旋转磁场可在次级装置中激发涡旋电流，涡旋电流同时在初级装置中引发感应电流，这两个电流相互作用产生了斥力，也就是悬浮力。

下面也进行一些简单的定量分析。



### 三、旋转磁场的磁悬浮



### 四、旋转磁场演示实验

[播放视频](#)



# 谢谢观看！

参考文献：

- [1] 《电磁学专题研究》舒幼生，陈秉乾
- [2] 《费曼物理学讲义》（第二卷）R.P.Feynman
- [3] 《感应电机椭圆旋转磁场的描述》刘晓东，囊晓宇，陆敏华 上海出入境检验检疫局
- [4] 《旋转磁场电动式磁悬浮系统的建模与控制》朱熙 北京交通大学