

# 分析双罩极圈罩极电动机性能的一种新方法

杨 莉, 朱晋梅, 王淑伟, 陈小勤, 柏业金

(西南交通大学峨眉校区, 四川 峨眉 614202)

**摘 要:** 双罩极圈罩极电动机由于结构复杂使得对其完整的定量分析变得十分困难。采用双旋转磁场理论, 对罩极电动机进行了分析并推导出总的电磁转矩公式。利用该公式就可得出罩极电动机的运行特性曲线和计算相应的有关变量。

**关键词:** 旋转磁场; 罩极电动机

**Abstract:** Complex structure of dual shaded-pole motor brings much difficult in complete quantitative analysis. Dual shaded-pole motor is analyzed by dual rotating magnetic field theory, then general formula for electromagnetic torque is derived in this paper. Using the formula, the operation curve of shaded-pole motor and relevant variables of the corresponding calculation can be obtained.

**Key words:** rotating magnetic field; shaded-pole motor

中图分类号: TM34 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2008)04-0060-04

罩极电动机以其运行可靠、成本低廉等优点被广泛运用在各种驱动装置中。为了增加起动转矩和提高运行性能, 人们又相继采用了磁分路等方法以改善其磁通分布和进一步改善运行性能。这势必使罩极电动机结构更加复杂, 定量分析更加困难。这里提出的双旋转磁场分析法较好的解决了这一难题。

## 1 双罩极圈罩极电动机的基本结构及运行原理

双罩极圈罩极电动机的基本结构如图 1 所示。

图中: 定子铁芯为凸极双槽式。定子上有一个主绕组 a 和两个罩极绕组 b、c。主绕组接电源。两个罩极绕组为短路环自行短路, 其相对位置如图 2 所示。转子为笼型结构。

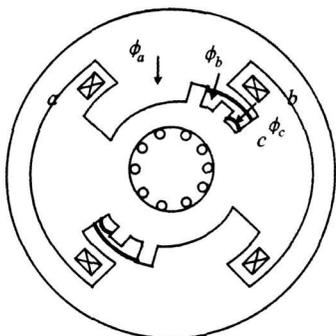


图 1 双罩极圈罩极电动机的结构示意图

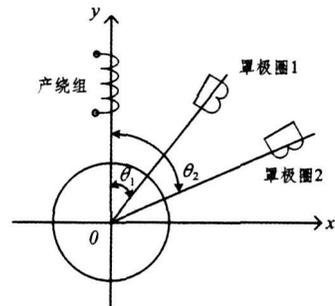


图 2 主绕组、罩极圈 1、2 相对位置图

由此可见, 双罩极圈罩极电动机实质上是一台空间不对称的三相异步电动机。设主绕组和两个罩极绕组之间的跨距分别为  $\theta_m, \theta_{s1}, \theta_{s2}$  电角度。其相对位置示意图如图 3 所示。

其中:

$$\theta_1 = \frac{1}{2} (\theta_m - \theta_{s1})$$

$$\theta_2 = \frac{1}{2} (\theta_m - \theta_{s2})$$

当工作绕组通入交流电后, 将产生脉振磁通, 其中  $\varphi_a$  为不穿过短路环的磁通,  $\varphi'$  为穿过短路环的磁通, 如图 4 所示。磁通  $\varphi'$  在罩极圈 b 中感应电动势和电流  $i_b$ ,  $i_b$  在 b 中产生磁通  $\theta_b^1$ ,  $\theta_b^1 = \theta' + \theta_{s1}^1$ , 它滞后  $\theta'$  的电角度为  $\phi_1$ 。同理,  $i_c$  在罩极圈 c 中产生磁通  $\theta_c^2$ ,  $\theta_c^2 = \theta_b^1 + \theta_{s2}^2$ , 即  $\theta_c^2$  滞后电角度为  $\phi_2$ 。由此可见, 双罩极圈罩极电动机的三个绕组在空间互差  $\theta_1$ 、

$\theta_2$ 、电度角, 它们的气隙中的三个磁通在时间上相位差为  $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 。因此在气隙中形成两个旋转磁场使电动机的转子旋转。

## 2 采用双旋转磁场理论对双罩极圈电动机的运行性能进行分析

双罩极圈电动机的运行特性中最重要的是矩速特性  $T = f(s)$ , 它是分析罩极电动机在各种负载情况下转矩与转速关系的特性曲线。一般采用实测方法求取, 因太复杂而不常采用。现根据双旋转磁场理论对双罩极圈罩极电动机的  $T = f(s)$  特性进行如下分析:

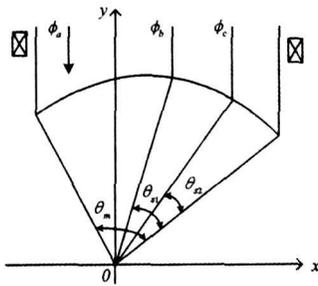


图 3 主绕组和罩极圈 1、2 之间磁通关系

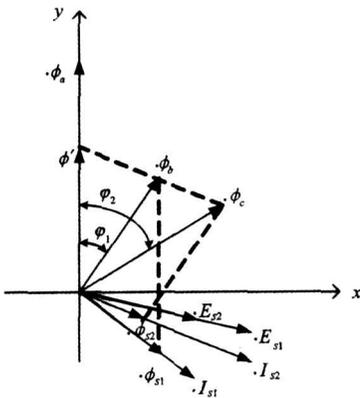


图 4 双罩极电动机磁通相量图

若令  $K_{n1}$  为对应与  $n$  次谐波磁通的主绕组和罩极圈 1 的有效匝数比,  $K_{n2}$  为主绕组和罩极圈 2 的有效匝数比, 则有:

$$K_{n1} = \frac{2pK_{um1n}}{NK_{umn}} \quad (1)$$

$$K_{n2} = \frac{2pK_{um2n}}{NK_{umn}} \quad (2)$$

式中,  $P$  为极对数;  $N$  为主绕组总匝数;  $n=1, 3, 5, 7$

$$\text{系数 } K_{umn} = \sin(n\theta_m/2) \quad (3)$$

$$K_{um1n} = \sin(n\theta_{s1}/2) \quad (4)$$

$$K_{um2n} = \sin(n\theta_{s2}/2) \quad (5)$$

主绕组产生的各次谐波正负序磁场分别在主绕组、罩极圈 1、2 中感应电势:

$$E_{fn} = \sum I_n Z_{fn} \quad (6)$$

$$E_{fa} = \sum K_{n1} I_n Z_{fn} e^{-jn\theta_1} \quad (7)$$

$$E_{fa2} = \sum K_{n2} I_n Z_{fn} e^{-jn\theta_2} \quad (8)$$

$$E_{fnn} = \sum I_n Z_{bn} \quad (9)$$

$$E_{lma} = \sum K_{n1} I_n Z_{bn} e^{jn\theta_1} \quad (10)$$

$$E_{lma2} = \sum K_{n2} I_n Z_{bn} e^{jn\theta_2} \quad (11)$$

罩极圈 1 产生的各次谐波正负序磁场分别在主绕组、罩极圈 1、2 中感应电势:

$$E_{fa} = \sum K_{n1} I_n Z_{fn} e^{jn\theta_1} \quad (12)$$

$$E_{fa1} = \sum K_{n1}^2 I_n Z_{fn} \quad (13)$$

$$E_{fa1} = \sum K_{n1} K_{n2} I_n Z_{fn} e^{-jn(\theta_1 - \theta_2)} \quad (14)$$

$$E_{lma1} = \sum K_{n1} I_n Z_{bn} e^{-jn\theta_1} \quad (15)$$

$$E_{fa21} = \sum K_{n1}^2 I_n Z_{bn} \quad (16)$$

$$E_{ba21} = \sum K_{n1} K_{n2} I_n Z_{bn} e^{jn(\theta_1 - \theta_2)} \quad (17)$$

罩极圈 2 产生的各次谐波正、负序磁场分别在主绕组、罩极圈 1、2 中感应的电势:

$$E_{fa2n} = \sum K_{n2} I_n Z_{fn} e^{jn\theta_2} \quad (18)$$

$$E_{fa21} = \sum K_{n1} K_{n2} I_n Z_{fn} e^{jn(\theta_1 - \theta_2)} \quad (19)$$

$$E_{fma2} = \sum K_{n2}^2 I_n Z_{fn} \quad (20)$$

$$E_{lma2} = \sum K_{n2} I_n Z_{bn} e^{-jn\theta_2} \quad (21)$$

$$E_{fa12} = \sum K_{n1} K_{n2} I_n Z_{bn} e^{jn(\theta_1 - \theta_2)} \quad (22)$$

$$E_{ba12} = \sum K_{n2}^2 I_n Z_{bn} \quad (23)$$

式中,  $Z_{fn}$  为  $n$  次谐波的正序阻抗;  $Z_{bn}$  为  $n$  次谐波的负序阻抗。它们可由相应的等值电路决定。

由于主绕组、罩极圈 1、2 之间非正交, 故三绕组之间存在互感电势, 可分别表示为:

$$E_m = jI_{a1} X_{ma1} + jI_{a2} X_{ma2} \quad (24)$$

$$E_{a1} = jI_n X_{ma1} + jI_{a2} X_{a12} \quad (25)$$

$$E_{a2} = jI_n X_{ma2} + jI_{a1} X_{a12} \quad (26)$$

由上述公式可分别画出主绕组和罩极圈 1、2 的

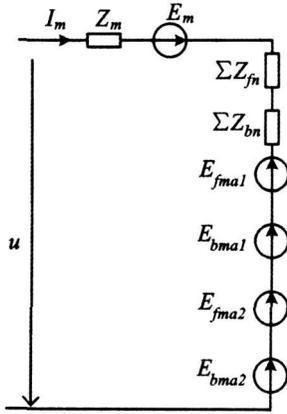


图 5 主绕组的等值电路

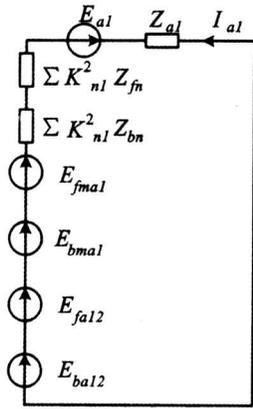


图 6 罩极圈 1 的等值电路

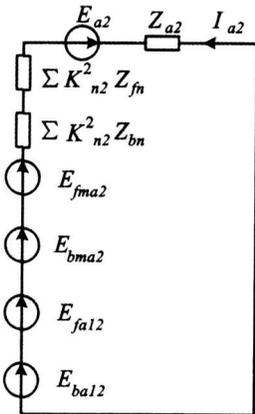


图 7 罩极圈 2 的等值电路

等值电路, 分别如图 5、图 6、图 7 所示。由图 5 可得主绕组的电压方程式:

$$u = I_m Z_{lm} + E_m + I_m (\sum Z_{fn} + \sum Z_{bn}) + E_{fma1} + E_{fma2} + E_{bma1} + E_{bma2} \quad (27)$$

由图 6 可得罩极圈 1 的电压方程式:

$$0 = I_{a1} Z_{a1} + E_{a1} + I_{a1} (\sum K_{n1}^2 Z_{fn} + \sum K_{n1}^2 Z_{bn}) + E_{fma1} + E_{bma1} + E_{fa12} + E_{ba12} \quad (28)$$

由图 7 可得:

$$0 = I_{a2} Z_{a2} + E_{a2} + I_{a2} (\sum K_{n2}^2 Z_{fn} + \sum K_{n2}^2 Z_{bn}) + E_{fma2} + E_{bma2} + E_{fa12} + E_{ba12} \quad (29)$$

将式 (7)~(26) 分别代入式 (27)~(29) 可得一个以  $I_m, I_{a1}, I_{a2}$  为未知数的方程组, 即:

$$u = Z_r I_m + Z_j I_{a1} + Z_k I_{a2} \quad (30)$$

$$0 = Z_{r1} I_m + Z_{j1} I_{a1} + Z_{k1} I_{a2} \quad (31)$$

$$0 = Z_{r2} I_m + Z_{j2} I_{a1} + Z_{k2} I_{a2} \quad (32)$$

式中:

$$Z_r = Z_{lm} + \sum (Z_{fn} + Z_{bn})$$

$$Z_j = jX_{ma1} + \sum K_{n1} (Z_{fn} e^{j\theta_1} + Z_{bn} e^{-j\theta_1})$$

$$Z_k = jX_{ma2} + \sum K_{n2} (Z_{fn} e^{j\theta_2} + Z_{bn} e^{-j\theta_2})$$

$$Z_{r1} = jX_{ma1} + \sum K_{n1} (Z_{fn} e^{-j\theta_1} + Z_{bn} e^{j\theta_1})$$

$$Z_{j1} = Z_{a1} + \sum K_{n1}^2 (Z_{fn} + Z_{bn})$$

$$Z_{k1} = jX_{a12} + \sum K_{n1} B_{n2} [Z_{fn} e^{-j(\theta_1 - \theta_2)} + Z_{bn} e^{j(\theta_1 - \theta_2)}]$$

$$Z_{r2} = jX_{ma2} + \sum K_{n2} (Z_{fn} e^{-j\theta_2} + Z_{bn} e^{j\theta_2})$$

$$Z_{k2} = jX_{a12} + \sum K_{n1} B_{n2} [Z_{fn} e^{j(\theta_1 - \theta_2)} + Z_{bn} e^{-j(\theta_1 - \theta_2)}]$$

$$Z_{j2} = Z_{a2} + \sum K_{n2}^2 (Z_{fn} + Z_{bn})$$

根据式 (30)~(32) 即可求得主绕组罩极圈 1、2 的电流  $I_m, I_{a1}, I_{a2}$  分别为:

$$I_m = \frac{u(Z_{j1} Z_{k2} - Z_{k1} Z_{j2})}{\Delta} \quad (32)$$

$$I_{a1} = \frac{u(Z_{k1} Z_{j2} - Z_{k2} Z_{r1})}{\Delta} \quad (33)$$

$$I_{a2} = \frac{u(Z_{r1} Z_{j2} - Z_{j1} Z_{r2})}{\Delta} \quad (34)$$

n 次谐波产生的转矩可通过式 (6)~(23) 中计算得到的各绕组正、负序感应电势分别乘以各绕组电流的共轭复数并取实部得到。

各次谐波产生的总的电磁转矩为:

$$T = \frac{97500}{n_1} \sum n (|I_{fn}^2| Z_{fn} - |I_{bn}^2| Z_{bn}) \quad (35)$$

其中: 正序等值电流  $I_{fn} = I_m + K_{n1} I_{a1} e^{j\theta_1} + K_{n2} I_{a2} e^{j\theta_2}$  负序等值电流  $I_{bn} = I_m + K_{n1} I_{a1} e^{-j\theta_1} + K_{n2} I_{a2} e^{-j\theta_2}$

有了上述公式, 其余输入、输出功率、效率、功率因数即可导出。依此可编出上机程序进行计算和分析。

### 3 结论

在原有分析方法的基础上, 采用了双旋转磁场理

论对双罩极圈的罩极电动机的性能进行了分析和计算。该法可作为定量分析罩极电动机性能的一种简便方法。

社, 1981.

[2] 李宗昉, 楚振宇, 钱清泉. wanlass 电动机的电磁分析与节能研究 [J]. 西南交通大学学报. 1997.

(收稿日期: 2008—06—20)

参考文献

[1] 顾绳谷. 电机及拖动 (下册) [M]. 北京: 机械工业出版社.

(上接第 23 页)

表 1 2 号锅炉 F3 一次风管混合器改型前后参数对照表

序号	给粉机转速 (r/min)		一次风管风压 (kPa)		排粉机出口风压 kPa		一次风速 (m/s)	
	改型前	改型后	改型前	改型后	改型前	改型后	改型前	改型后
1	0	0	4.5	4	3.8~3.9	3.2	43.5	40
2	302	303	4.1~4.2	4.2~4.3	3.8~3.9	3.8~3.9	38	33
3	402	403	4.1	4.3	3.8~3.9	3.8~3.9	38.7	32
4	497	498	4.3~4.4	4.3~4.4	3.8~3.9	3.8~3.9	28	31
5	580	588	4.3~4.4	4.3~4.4	3.8~3.9	3.8~3.9	30	27

表 2 2 号锅炉 C3 一次风管混合器改型前后参数对照表

序号	给粉机转速 (r/min)		一次风管风压 (kPa)		排粉机出口风压 kPa		一次风速 (m/s)	
	改型前	改型后	改型前	改型后	改型前	改型后	改型前	改型后
1	0	0	4.5	4	3.8~3.9	3.2	41	40
2	305	304	4.1~4.2	4.2~4.3	3.8~3.9	3.8~3.9	39	32
3	406	410	4.1	4.3	3.8~3.9	3.8~3.9	38	30
4	500	495	4.3~4.4	4.3~4.4	3.8~3.9	3.8~3.9	29	27
5	589	585	4.3~4.4	4.3~4.4	3.8~3.9	3.8~3.9	30	26

表 3 2 号锅炉 A4 一次风管混合器改型前后参数对照表

序号	给粉机转速 (r/min)		一次风管风压 (kPa)		排粉机出口风压 kPa		一次风速 (m/s)	
	改型前	改型后	改型前	改型后	改型前	改型后	改型前	改型后
1	0	0	4.5	4	3.8~3.9	3.2	39	40
2	305	304	4.1~4.2	4.2~4.3	3.8~3.9	3.8~3.9	37	25
3	406	410	4.1	4.3	3.8~3.9	3.8~3.9	36	25
4	500	495	4.3~4.4	4.3~4.4	3.8~3.9	3.8~3.9	29	23
5	589	585	4.3~4.4	4.3~4.4	3.8~3.9	3.8~3.9	31	22

3 结束语

锅炉给粉均匀性对锅炉燃烧的安全、经济影响较大,合理的风粉混合器结构是保证给粉机正常下粉的重要因素。四川巴蜀江油燃煤发电有限公司通过组织专业人员进行风粉混合器的技术攻关改进,增大下粉截面以适应新的煤种,利用引流原理消除给粉机下

部原来呈正压产生的托粉现象,使给粉机随时落下的粉都能顺畅地被一次风送进炉膛燃烧,提高了给粉均匀性的同时,杜绝了下风管和一次风堵粉,有利于固态排渣炉的稳燃和锅炉运行参数的稳定,是防止锅炉灭火的一项有效措施;它能避免给粉机漏粉,减低火灾发生率和控制设备故障率,有利于安全文明生产。该风粉混合器是一项成功的新技术,投资很少、收效快、效益高。

(收稿日期: 2008—05—10)

更正: 2008 年增刊“高压电力电缆工频参数测量数据比较分析”作者杨帆、刘玮、干建伟工作单位为“成都电业局修试所”。