

送风机用双速电动机变极绕组方案研究及实践

杨 杰, 张城生, 黄开胜

(广东工业大学 电子与信息工程系, 广东 广州 510643)

摘要: 应用换相法变极设计原理, 将与大型发电机组配套采用 YY/Y 接法的送风机电机改造成为 Δ/Δ 接法的电机, 经实践证明大大提高了送风机电机的运行性能. 详细介绍了样机的两套绕组方案设计, 并对运行性能进行了对比分析, 证明了换相法变极的优越性.

关键词: 异步电动机; 变极绕组; 性能分析

中图分类号: TM343.3; TM303.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7162(1999)03-0067-06

三相双速笼型异步电动机的发展已有近百年的历史, 其中较典型的是 1958 年由英国 Bristol 大学的 G. H. Rawcliffe 等提出的“极幅调制绕组”(称为 P. A. M 绕组)构成的 YY/Y 接法单绕组双速异步电动机^[1], 它是由每相绕组中有一半线圈电流反向实现变极, 俗称为“反向法变极”. 文献[2]提出的“换相变极绕组”属于“换相法变极”, “换相法变极”与“反向法变极”相比, 其各项技术指标和变极切换的可靠性方面均有较大的优越性.

目前我国 20 万 kW 发电机组所配套的锅炉送风机电机大多采用 YY/Y 接法, 作者应用换相法变极设计原理, 成功地将湖北省青山热电厂的两台采用 YY/Y 接法的送风机电机(型号为 YLB173/41—1250/630kW—8/10 极, $Q_1=120$ 槽)改造成为 Δ/Δ 接法的电机, 经实践证明大大提高了送风机电机的运行性能. 本文详细介绍了样机的两套绕组方案设计, 并对运行性能进行了对比分析, 证明换相法变极的优越性, 为以后此类电机的绕组方案设计提供了有益的参考.

1 YY/Y 接法双速电动机的变极切换方式及绕组方案分析

传统的“反向法变极”绕组 $2p_1/2p_2$ 极下分别接成 YY/Y 接法如图 1 所示, 有六根引出线 $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$. 电动机低速下通过三相关 K_1 接通三相电源定子绕组呈 Y 接法, 旋转磁势为 $2p_2$ 极, 同步转速为 $n_2 = \frac{60f}{p_2}$. 电动机高速下先通过三相关 K_2 将 D_1, D_2, D_3 短路作为三相绕组的“星点”, 然后再让三相关 K_3 合闸接通三相电源, 定子绕组为 YY 接法, 旋转磁势为 $2p_1$ 极, 同步转速为 $n_1 = \frac{60f}{p_1}$.

这种 YY/Y 接法双速电动机的变极切换方式在未考虑电动机反转的情况时双速下需 3 只三相关 K_1, K_2, K_3 . 从低速切换到高速时需先断开 K_1 , 再将 K_2 合闸, 然后才能将 K_3 合闸. 从高速切换到低速时需先断开 K_3 , 再将 K_2 断开, 然后才能将 K_1 合闸.

根据文献[1]可设计出具体的定子槽数 $Q_1=120, 8/10$ 极、YY/Y 接法的双速绕组如图 2

收稿日期: 1998-11-23

作者简介: 杨杰 (1966-), 男, 讲师; 主要研究方向: 电机绕组理论及电机设计.

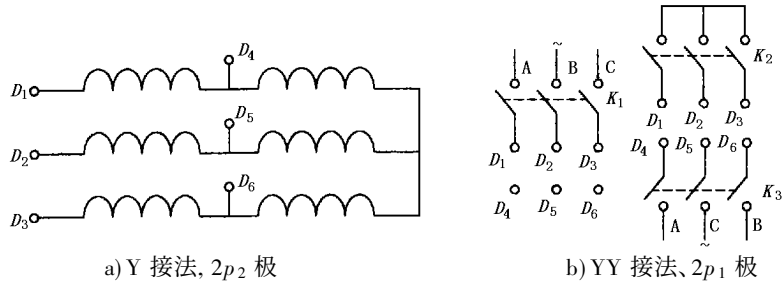


图 1 传统的 YY/Y 接法的双速绕组

所示(图中线圈号前面带“—”号的线圈为反接的线圈). 湖北省青山热电厂锅炉送风机电机改造前就采用了该绕组方案.

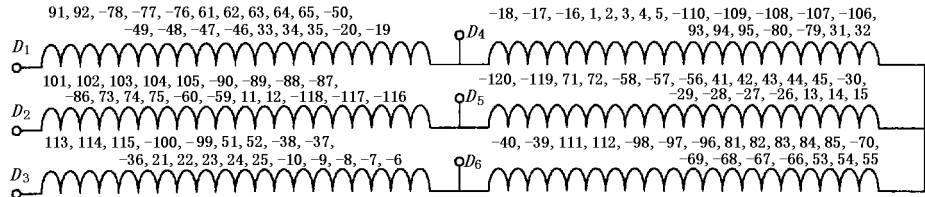


图 2 $Q_1=120$ 槽, 8/10 极, $y=10$, YY/Y 接法的反向变极绕组

根据图 2 YY/Y 接法的反向变极绕组接线图及线圈的节距 $y=10$ 进行该绕组的谐波分析, 谐波分析结果如表 1 所示.

表 1 $Q_1=120$, 8/10 极, YY/Y 接法, $y=10$ 谐波分析结果

谐波极对数 V		1	4	5	11	13	17	19	20	23	28	29	31	35	41	44	79	89	91	101	107	115	116	124	125
8 极	谐波含量	正转	100								2.2													3.2	
	$F_v/F_{基} \times 100\%$	反转							4.2							1								3.4	
10 极	谐波含量	正转		100		1.8		5.4		2		4.5		1	2.7		1.9		1.4	1.3				4	
	$F_v/F_{基} \times 100\%$	反转	24.3					10.3		7.2				5.4			1.4		1.4					4.3	

2 $\Delta/\triangle$ 接法双速电动机的变极切换方式及绕组方案分析

文献[2]提出的“换相变极绕组” $2p_1/2p_2$ 极下分别接成 $\Delta/\triangle$ 接法如图 3 所示, 有 6 根引出线 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 . 电动机低速下通过三相开关 K_1 接通三相电源, 定子绕组呈 $\triangle$ 接法, 旋转磁势为 $2p_2$ 极, 同步转速为 $n_2=\frac{60f}{p_2}$. 电动机高速下通过三相开关 K_2 接通三相电源, 定子绕组为 Δ 接法, 旋转磁势为 $2p_1$ 极, 同步转速为 $n_1=\frac{60f}{p_1}$.

这种双速电动机的变极切换方式在未考虑电动机反转的情况, 双速下需两只三相开关 K_1 、 K_2 . 从低速切换到高速时需先断开 K_1 , 然后再将 K_2 合闸. 从高速切换到低速时需先断开 K_2 , 然后再将 K_1 合闸.

根据文献[2]可设计出具体的定子槽数 $Q_1=120$ 、8/10 极、 $\Delta/\triangle$ 接法的双速绕组如图 4 所示(图中线圈号前面带“—”号的线圈为反接的线圈). 作者对于湖北省青山热电厂两台原采用

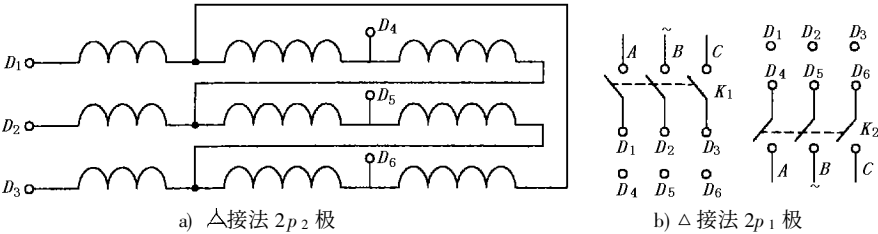


图 3 Δ / Δ接法的双速绕组

YY/Y 接法锅炉送风机电机的改造项目中就采用该绕组方案.

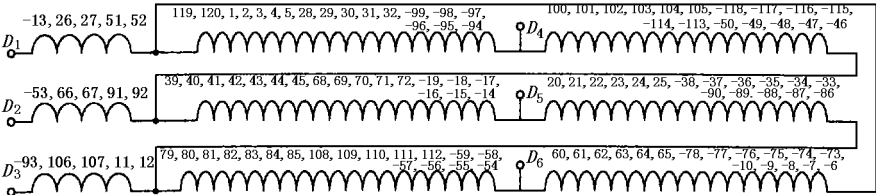


图 4 $Q_1=120$ 槽、8/10 极、 $y=10$ 、 Δ/Δ 接法的换相变极绕组

根据图 4 Δ/Δ 接法的换相变极绕组接线图及线圈的节距 $y=10$ 进行该绕组的谐波分析,谐波分析结果如表 2 所示.

表 2 $Q_1=120$ 、8/10 极, Δ/Δ 接法, $y=10$ 谐波分析结果

谐波极对数 V		1	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16	17	19	20	22	23	26	28	29	31	40	41	43	115	116	124	125
8 极	谐波含量	正转	10.1	100		3		1				2	8		2				1.6		1.2				1		3.2	
	$F_v/F_{\text{基}} \times 100\%$	反转		19.9	23.1		3.1	2.6		3					1.2												3.4	
10 极	谐波含量	正转		40.2	100		2.4	1.5		3.3		1.8		1.7		1.9	1.1		1.8			1						4
	$F_v/F_{\text{基}} \times 100\%$	反转		17.9	17		4.3	4.6		3.1		3.4		3.4		1.4			1.5		1.2	1.2		1.14	3			

3 YY/Y、Δ/Δ两种绕组接法下电机运行性能的对比

3.1 变极切换的可靠性

采用 YY/Y 接法的双速电机需 3 只三相开关 K_1 、 K_2 、 K_3 , 其变极切换的控制方式可靠性差, 有如下隐患(见图 1):

- ① 跳闸回路无互锁, 因此会发生先断 K_2 后断 K_3 的操作情况, 这个时间若稍长会烧毁电机
- ② 断开 K_2 后, 如果误操作合上 K_1 也会烧毁电机.
- ③ 高速如果 K_2 未合上, 而合上 K_3 也会烧毁电机.
- ④ 若 K_2 与 K_1 的互锁失灵, 则可能造成母线短路的后果.

因此采用 YY/Y 接法的双速电机要求开关动作绝对可靠, 而运行人员绝对不得误操作, 否则会造成烧毁电机或母线短路事故.

而采用 Δ/Δ 接法的双速电机只需两只三相开关 K_1 、 K_2 (见图 3), 该两台开关互锁, 高、低速挡均可直接起动, 上述的一系列隐患均彻底消除, 其变极切换的控制方式可靠性高.

3.2 气隙磁密比估算

- ① $Q_1=120$ 槽、8/10 极、 $y=10$ 、YY/Y 接法的双速电机(见图 2)

8 极、10 极下的分布系数分别为: $K_{d1} = 0.9567$ 、 $K'_{d1} = 0.6094$

短距系数分别为: $K_{p1} = 0.866$ 、 $K'_{p1} = 0.9659$

8 极、10 极下的绕组系数分别为:

$$K_{dp1} = K_{d1} \cdot K_{p1} = 0.9567 \times 0.866 = 0.8285 \quad (1)$$

$$K'_{dp1} = K'_{d1} \cdot K'_{p1} = 0.6094 \times 0.9659 = 0.5886 \quad (2)$$

8/10 极下的气隙磁密比 B_{g1}/B_{g2} 可按(3)式进行估算:

$$\frac{B_{g1}}{B_{g2}} = \frac{U_1 k_{EP1} w'_1 k'_{dp1}}{U'_1 k_{EP2} w_1 k_{dp1}} \quad (3)$$

其中 $k_E U_1$ 、 $K'_E U'_1$ 分别为极对数 $p_1 = 4$ 、 $p_2 = 5$ 下的每相绕组的感应电势, 而 $U_1 = U'_1$ 即 YY、Y 接法的相电压相等, 考虑阻抗压降的系数 k_E 和 k'_E 分别取为 0.9 和 0.7 (其取值范围 8 极 k_E 为 0.95~0.85, 10 极 k'_E 为 0.85~0.65). 每相串联匝数对 8 极而言为 $w_1 = 20 \times w_Y = 20 \times 10 = 200$ (匝), 对 10 极而言为 $w'_1 = 40 \times w_Y = 40 \times 10 = 400$ (匝).

$$\frac{B_{g1}}{B_{g2}} = \frac{0.9}{0.7} \times \frac{4}{5} \times \frac{400 \times 0.5886}{200 \times 0.8285} \approx 1.46 \quad (4)$$

② $Q_1 = 120$ 槽、8/10 极、 $\gamma = 10$ 、 $\Delta/\triangle$ 接法的双速电机(见图 4)

8 极、10 极下的分布系数分别为: $K_{d1} = 0.9321$ 、 $K'_{d1} = 0.803$

短距系数分别为: $K_{p1} = 0.866$ 、 $K'_{p1} = 0.9659$

8 极、10 极下的绕组系数分别为:

$$K_{dp1} = K_{d1} \cdot K_{p1} = 0.9321 \times 0.866 = 0.8072 \quad (5)$$

$$K'_{dp1} = K'_{d1} \cdot K'_{p1} = 0.803 \times 0.9659 = 0.7756 \quad (6)$$

8/10 极下的气隙磁密比可按(3)式进行估算. 对于 8/10 极、 $\Delta/\triangle$ 接法的双速绕组, $U'_1 = U_1/\sqrt{3}$, k_E 和 k'_E 分别取为 0.9 和 0.8. 每相串联匝数对 8 极而言为 $w_1 = 35 \times w_\Delta = 35 \times 10 = 350$ (匝), 对 10 极而言为 $w'_1 = 5 w_Y + \frac{35 w_\Delta}{\sqrt{3}} = 5 \times 10 + \frac{35 \times 10}{\sqrt{3}} = 252.07$ (匝). 所以 8/10 极下的气隙磁密比约为:

$$\frac{B_{g1}}{B_{g2}} = \frac{\sqrt{3}}{1} \times \frac{0.9}{0.8} \times \frac{4}{5} \times \frac{252.07 \times 0.7756}{350 \times 0.8072} \approx 1.08 \quad (7)$$

3.3 8 极、10 极带风机直接起动

从上述两种接法(YY/Y、 $\Delta/\triangle$)的 8/10 极气隙磁密比估算值可看出, YY/Y 接法的 B_{g1}/B_{g2} 比值不合适, 8 极时的气隙磁密约为 10 极的 1.46 倍, 而电机的起动转矩与气隙磁密近似成正比, 因此 10 极的起动转矩太小, 以致于 10 极不能直接带风机起动. 湖北省青山热电厂的锅炉送风机电机改造前就是因为采用了该 YY/Y 接法, 10 极不能直接起动, 且变极切换可靠性低, 一直作为 8 极电机单速运行. 而 $\Delta/\triangle$ 接法的 B_{g1}/B_{g2} 比值合理, 8 极的气隙磁密与 10 极的气隙磁密基本相等, 8 极、10 极均能带风机直接起动. 湖北省青山热电厂的锅炉送风机电机改造后(采用了该 $\Delta/\triangle$ 接法)8 极、10 极均能带风机直接起动.

4 送风机电机改造前后的试验及经济效益分析

由于湖北省青山热电厂的锅炉送风机电机采用 YY/Y 接法,气隙磁密比不合适,低速档不能带风机直接起动,并且该绕组接法(YY/Y)需 3 只三相开关变极切换,存在着一系列事故隐患,可靠性不高.因此,作者与厂方合作将湖北省青山热电厂的两台送风机电机由 YY/Y 接法改造成为 Δ/Δ 接法.由于不需更换定子线圈仅改接端部联接线,利用电厂小修时间,使用较少的绝缘材料、焊接材料和人工,顺利地完成了改造施工任务.两台电机经改造后均一次试车成功,自投入运行至今没有出现任何事故.实际运行证明,该锅炉送风机电机采用 Δ/Δ 接法后可靠性高,高速档、低速档均能带风机直接起动,可根据锅炉负荷大小灵活调节电机的转速达到大量节电的目的.

4.1 电机改造前后的试验

湖北青山热电厂的锅炉送风机电机改造前后的试验数据如表 3 所示:

表 3 锅炉送风机电机改造前后的试验数据

	极数	额定功率 /kW	额定电流 /A	运行电流 /A	输入功率 /kW	起动电流 /A	起动时间 /s
改造前	8	1250	144	134	1180	849.7	16.6
YY/Y 接法	10	630	79.2	未运行	未运行	357.9	60
改造后	8	1250	146	130	1168	871.9	23.4
Δ/Δ 接法	10	630	86	74	580	632.8	17.7

4.2 电机改造经济效益分析

湖北省青山热电厂的锅炉在低负荷时可调整两台送风机电机采用“一台高速一台低速”或“二台低速”运行方式,经计算每年可节电约 300 万 kWh.

该改造不需任何额外设备投入,反而每台电机可节省 1 只开关,所产生的经济效益十分显著.

5 结论

本文应用换相法变极设计原理,将与大型发电机组配套采用 YY/Y 接法的送风机电机(型号为 YLB173/41—1250/630kW—8/10 极, $Q_1=120$ 槽)改造成为 Δ/Δ 接法的电机,经实践证明:与原电机相比,改造后的电机变极切换的可靠性更高;气隙磁密比更合理;两种极数下电机均可直接起动;大大提高了送风机电机的运行性能;两台电机每年可节电约 300 万 kWh.

本文详细介绍了样机的两套绕组方案设计,并对运行性能进行了对比分析,证明换相法变极的优越性,为以后此类电机的绕组方案设计提供了有益的参考.

参考文献:

[1] Rawcliffe G H, Burbidge R F, Fong W. Induction motor speed- changing by pole- amplitude modulation[M]. Proc. of IEE. 1958. 72~ 78.

[2] 张城生,陈雪华. 换相变极电机绕组设计方法[P]. 中国专利:8510367. 3. 1985- 04- 01.

[3] 陈雪华,张城生,杨杰等. 双速电动机的转速控制[J]. 广东机械学院学报,1995, 13(4) . 1~ 3.

Design and Practice of the Pole- changing Winding of Two-speed Draught Fan Motor

YANG Jie, ZHANG Cheng-sheng, HUANG Kai-sheng

(Dept. of Electronic and Information Engineering, GDUT, Guangzhou, 510643, China)

Abstract: This paper discusses the method of changing the YY/Y connection of the stator windings into Δ/Δ connection for the draught fan motor in the heat power station, using the pole- changing winding principle. The characteristics of the draught fan motor has improved greatly. The two methods of stator windings connection are discussed in detail, the conclusion proves the advantage of the phase- group- interchange method.

Key words: Induction motor; pole- changing winding; characteristics analysis

(责任编辑: 利 民)

简 讯

《精细化工工艺学》获奖

由广东工业大学化学工程系宋启煌教授主编的《精细化工工艺学》1999 年 1 月荣获 1998 年部级化工优秀教材二等奖. 该书由北京化学工业出版社出版.

该书题材新颖、内容丰富、实用性强, 可作普通高校、职工大学、化工轻工类的精细化工、化学工程与工艺等专业或相近专业的必修或选修课的教材, 并可供从事化学、化工、精细化工的生产、科研人员作学习参考用书. 该书已第 3 次再版, 向全国发行.

(本刊编辑部)