

多极电机有绕组定子制造工艺改进

苏启平

(安徽皖南电机股份有限公司, 安徽 宣城 242500)

摘要: 多极电机具有槽数多、跨距短、槽满率高等特点。对此类电机而言,若采用普通三相异步电动机嵌线工艺,操作难度大,且有绕组定子铁心的故障率高。针对这一问题,介绍 15 kW 发电机有绕组定子制造工艺的改进方案。通过工艺改进,可以降低绕组嵌线难度和故障率,提高劳动效率。

关键词: 电机生产; 绕线模; 绕组; 跨距; 分层嵌线

中图分类号: TM 305 文献标志码: B 文章编号: 1673-6540(2021)01-0101-04

doi: 10.12177/emca.2020.184

Technology Improvement on Winding Stator of Multi-Pole Motors

SU Qiping

(Anhui Wannan Electric Machine Co., Ltd., Xuancheng 242500, China)

Abstract: The multi-pole motor features numerous slots, short span and high copper space factor. For such motors, adopting the common copper wire insertion technology for three-phase asynchronous motors will make it difficult to operate and increase failure rate of stator core winding. To deal with this problem, an improvement scheme of 15 kW generator's winding stator technology is introduced, by which the winding inserting will become easier with the failure rate lowered and working efficiency improved.

Key words: motor production; winding module; winding; span; layered inserting

0 引言

绕组是电机的“心脏”,是电机的关键部件。绕组的制造质量是影响电机寿命和运行可靠性的主要因素之一^[1]。一般用途的中小型电机多为 2、4、6、8、10 极。极数大于等于 12 的多极电机通常具有定子槽数多、端部小、跨距短、槽满率高等特点。在多极电机制造过程中要控制有绕组端部的高度和厚度,对有绕组的嵌线、接线及整形工艺的要求比较高。若采用普通三相异步电动机的散嵌绕组制造工艺,会出现槽口对地、线圈匝间故障、槽楔难嵌入槽内、槽口齿部摊开等故障,导致质量问题。为此,本文介绍 15 kW 风力发电机在样机试制阶段出现的故障和采取的有绕组定子制造工艺改进方案,证实了改进方案可以降低有绕组定子的嵌线难度和故障率。相关工艺可推广应

用于其他多极电机产品的绕组生产。

1 普通工艺用于多极电机生产的问题

安徽皖南电机股份有限公司自主研发的 15 kW 风力发电机,极数多(40 极)、体积小、结构非常紧凑。绕组跨距为 1-2, $A=1$, 双层叠绕,每相 24 个线圈。风力发电机绕组内部展开图如图 1 所示。其定子铁心内径小(150 mm)、槽数多(72)、跨距小、槽满率高(85.6%)。由于整机结构紧凑,绕组端部空腔小,在样机试制开始阶段,根据普通双层电机制造工艺要求,发现线包非常短,端部整形困难。在控制端部高度的过程中,会出现底槽绝缘在槽口处破损的情况,造成槽口对地。嵌线工序的难度大,导致有绕组定子故障率高(如槽口对地、线圈的匝间或相间故障等)。

收稿日期: 2020-11-06; 收到修改稿日期: 2020-11-30

作者简介: 苏启平(1973—),女,工程师,研究方向为三相异步电动机。

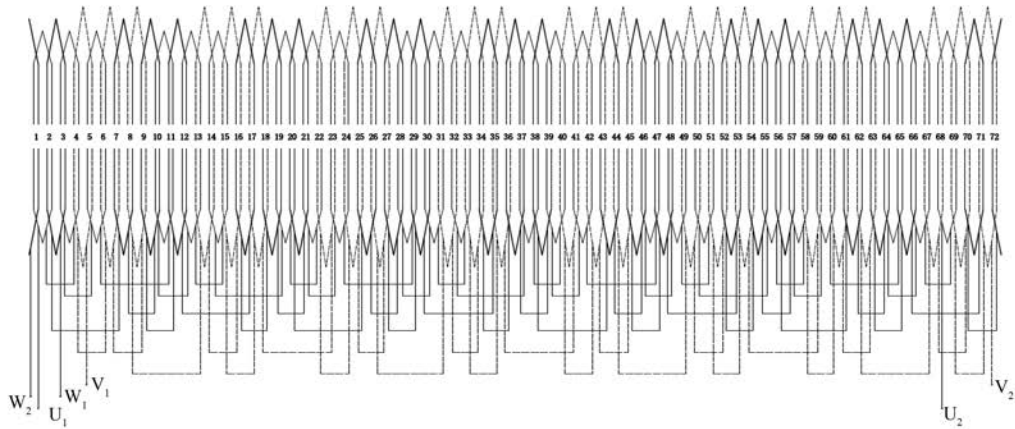


图1 风力发电机绕组内部展开图

对首批加工的5台样机进行耐压试验,要求平均不合格率不得高于千分之四(0.4%)。首批有绕组定子样机试验结果如表1所示。由表1可知,5台样机平均故障率(故障槽数与总槽数之比)高达2.22%。

表1 首批有绕组定子样机试验结果

台次	故障原因	故障槽数	总槽数	故障率/%
1	对地	1	72	2.77
	相间	0		
	匝间	1		
2	对地	0	72	1.38
	相间	0		
	匝间	1		
3	对地	1	72	2.77
	相间	1		
	匝间	0		
4	对地	0	72	2.77
	相间	1		
	匝间	1		
5	对地	0	72	1.38
	相间	1		
	匝间	0		

结合数据分析和现场调查,判断嵌线时绕组端部直线部分太短和槽满率偏高是导致有绕组定子故障的主要因素。

2 改进方案

2.1 圆弧形绕线模改为方形绕线模

针对绕组端部直线部分太短的问题,有2个改进方法:(1)加长绕线模的直线部分;(2)改变绕线模的形状。

加长原有绕线模直线部分长度虽能降低嵌线难度,但也会加长定子的端部高度、加大装配工序的难度,并且会增加铜耗和电机的制造成本。因此,该方法不可取。

考虑通过改变绕线模形状来解决绕组端部直线部分太短的问题。实际嵌线时,先嵌入下沉边,再嵌跨节距后的上沉边,此时需将线圈端部圆弧拉成直边。绕组线圈宽度25mm,总截面积约为17.5mm²,凭借人工操作很难将上沉边一次性嵌入槽内,而若分批拉直嵌入,漆包线又会与定子铁心在槽口的位置直接接触而损伤漆膜,导致槽口对地。若线圈端部为直边,就可以解决问题。故提出将绕线模的形状由圆弧形(图2)改为方形(图3),利用绕线模直接绕制出线圈的直角端部,降低嵌线难度。

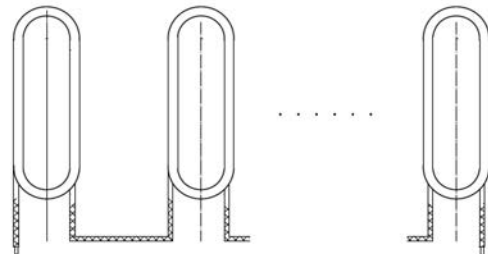


图2 改进前圆弧形绕线模

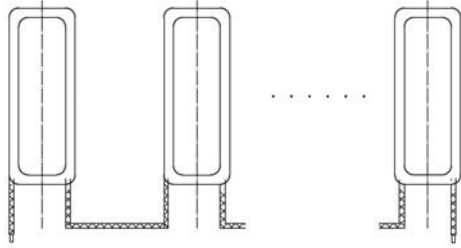


图3 改进后方形绕线模

2.2 分层绕制分层嵌入

该发电机槽满率高、槽数多,按照传统双层双叠嵌线方法,故障率高。为了解决这一问题,提出保持绕组匝数不变、将线规(截面积)改为原来的1/2,绕组绕制2次。绕组绕制示意图如

图4所示。改进前需要绕制36相,改进后需要绕制72相。

绕组绕制完成后,72槽分2个双层嵌入,每个双层有144个逐步嵌线次序。分层绕制、分层嵌入绕组嵌线顺序表(一半绕组)如表2所示^[2]。整个电机绕组有4层,即288次序逐步嵌线。

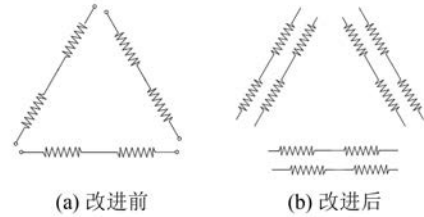


图4 绕组绕制示意图

表2 分层绕制、分层嵌入绕组嵌线顺序表(一半绕组)

嵌线次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
嵌入 下层	2	1		72		71		70		69		68		67		66		65		64		63		62
槽号 上层			2		1		72		71		70		69		68		67		66		65		64	
嵌线次序	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
嵌入 下层		61		60		59		58		57		56		55		54		53		52		51		50
槽号 上层	63		62		61		60		59		58		57		56		55		54		53		52	
嵌线次序	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
嵌入 下层		49		48		47		46		45		44		43		42		41		40		39		38
槽号 上层	51		50		49		48		47		46		45		44		43		42		41		40	
嵌线次序	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
嵌入 下层		37		36		35		34		33		32		31		30		29		28		27		26
槽号 上层	39		38		37		36		35		34		33		32		31		30		29		28	
嵌线次序	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
嵌入 下层		25		24		23		22		21		20		19		18		17		16		15		14
槽号 上层	27		26		25		24		23		22		21		20		19		18		17		16	
嵌线次序	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
嵌入 下层		13		12		11		10		9		8		7		6		5		4		3		
槽号 上层	15		14		13		12		11		10		9		8		7		6		5		4	3

所提出的分层式嵌线方法在绕配线工序中需要耗费一定的时间,但会降低嵌线工序的难度。在嵌入第一层时槽满率很低,很容易嵌入;嵌入第二层时,由于线规减少了一半,且有绕组端部是直角的,因而线圈嵌入槽中难度系数也大大降低。

这种方法在嵌线过程中需要注意以下几点。

(1) 嵌入第一组时,做好U、V、W三相进出线的标志,便于接线时辨认。因为第二层的线圈

是在第一层的基础上嵌入的,在同槽内第一组的上沉边出线和第二组的下沉边入线位置很接近。例如表2所示嵌线次序的第4项和第5项,也就是第72槽的底线和第1槽的面线,相隔1槽,2组出线的位置基本相同,同时夹在2层线包之间,如果没有接线标志将很难分清出线和入线,从而导致相间故障。

(2) 嵌入第二组的起点的三相(同槽内)要

与第一组的 U、V、W 三相相同,并要做好绝缘。在同槽内有 4 层线圈,如果同槽内第二组与第一组相次不同,那么 U、V、W 相可能同时出现在同一槽内,导致电机不能起动。

(3) 根据嵌线时做好的 U、V、W 三相标志,通过串联的方式进行不同相过桥线的连接。接好第一层的出线后,再接第二层的出线,最后把 2 层相同相次的出入线进行合并。接线时一定要区分三色线否则极易串相。

3 改进效果

将上述改进方案应用于后期 15 kW 发电机有绕组定子的制造中,仍对 5 台样机进行耐压试验。改进前后有绕组定子故障率对比如表 3 所示。

表 3 改进前后有绕组定子故障率对比

样机	改进前	改进后
槽口对地槽数	2	0
匝间故障槽数	3	0
相间故障槽数	3	1
错线槽数	0	1
5 台总槽数	360	360
平均故障率/%	2.22	0.55

需要指出的是,改进后出现的错线问题是人为因素导致的。除去错线问题后,采用改进工艺制作的有绕组定子样机,故障率为 0.28%,达到了不高于 0.4% 的要求。

改进方案后期多次推广应用于其他产品样机的绕组生产,有效地降低了嵌线工序的难度和故障率,提高了有绕组铁心的制造质量。

4 结 语

15 kW 风力发电机是多极电机的一种。本文针对其有绕组定子制造,在不改变电磁方案的前提下,提出了 2 种改进工艺,有效地降低了嵌线工序的难度和故障率,提高了制造质量,形成量产的产品。所介绍的改进方案已推广应用于其他产品样机的绕组生产,为槽数多、跨距短、槽满率偏高的多极电机绕组定子制造提供了一定的参考。

【参考文献】

- [1] 赵朝会. 电机制造工艺学[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,2018: 118.
- [2] 潘品英. 新编电动机绕组布线接线彩色图集[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2006: 167.
- [9] 杨茂,黄宾阳. 基于灰色缓冲算子-卡尔曼滤波双修正的风电功率实时预测研究[J]. 可再生能源, 2017,35(1): 101.
- [10] 杨宏,苑津莎,张铁峰. 一种基于 Beta 分布的风电功率预测误差最小概率区间的模型和算法[J]. 中国电机工程学报,2015,35(9): 2135.
- [11] 张金环,王超群,张彤,等. 基于高斯混合分布模型的风电功率预测误差统计分析研究[J]. 智慧电力,2020,48(7): 59.
- [12] 闫健,高长元,于广滨. 基于海上风电功率特性的预测误差对比分析[J]. 计算机集成制造系统, 2020,26(3): 648.
- [13] 朱乔木,李弘毅,王子琪,等. 基于长短期记忆网络的风电场发电功率超短期预测[J]. 电网技术, 2017,41(12): 3797.
- [14] 张里,王兰,李红军,等. 基于聚类分析的风电功率预测数据预处理方法[J]. 可再生能源,2018,36(12): 1871.
- [15] 罗珂珂. 基于回归支持向量机的风功率预测误差分析[J]. 技术与市场,2020,27(4): 62.
- [16] 周斌,文亮,杨力,等. BP 神经网络在风电功率预测中的应用[J]. 宜宾学院学报,2012,12(6): 30.
- [17] 孟升卫,冯晓晓,庞景月,等. 基于 LS-SVM 和核密度估计的概率性风电功率预测[J]. 计算机测量与控制,2019,27(12): 34.
- [18] 李乐,刘天琪,王福军,等. 一种风电功率简易预测模型[J]. 电测与仪表,2016,53(16): 35.
- [19] 杜冲,周长银. 基因表达数据特征子集的冗余研究[J]. 统计与信息论坛,2019,34(5): 10.
- [20] 柳小波,袁鹏喆,张兴帆. 基于 RBF 神经网络的露天矿爆破效果预测研究[J]. 中国矿业,2020,29(1): 81.
- [21] 周锋,孙廷玺,权少静,等. 基于集合经验模态分解和极限学习机的变压器油中溶解气体体积分数预测方法[J]. 高电压技术,2020,46(10): 3658.
- [22] CASTELLANI F, ASTOLFI D, SDRINGOLA P, et al. Analyzing wind turbine directional behavior: SCADA data mining techniques for efficiency and power assessment [J]. Applied Energy, 2017, 185 (2): 1076.