

大线规发卡式绕组电机定子制造工艺研究

顾 丽¹, 肖孝轩², 沈小冒², 裴 鸣³

¹湖南化工职业技术学院 湖南株洲

²中车株洲电机有限公司 湖南株洲

³常州市普世汽车电动系统有限公司 江苏常州

【摘要】本文介绍了大线规发卡式绕组电机定子制作工艺流程,研究了具体工艺过程,阐述了大线规发卡式绕组电机定子制作过程中的工艺技术难点,通过研究及分析,对技术难点提出了相应的解决措施,取得了预期的效果,并成功研制了一台大线规发卡式绕组电机定子。

【关键词】大线规;发卡式绕组;工艺;技术难点

【基金项目】2025 年湖南省教育科学工作者协会“十四五”规划课题:“产教融合视域下国家级教师创新团队‘双师型’教师建设体系的构建研究”(课题编号:XJKX25B491)

【收稿日期】2025 年 6 月 13 日

【出刊日期】2025 年 7 月 11 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250329

Research for manufacturing technology of stator of Large-size wire hair-pin winding motor

Li Gu¹, Xiaoxuan Xiao², Xiaomao Shen², Ming Pei³

¹Hunan Chemical Vocational Technology College, Zhuzhou, Hunan

²CRRC Zhuzhou Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan

³Changzhou PUCYE-Drive System Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu

【Abstract】This paper introduces the manufacturing technology of stator of Large-size wire Hair-pin winding motor, and studies the specific process of stator, and describes process technical difficulty of stator in the manufacturing process, through research and analysis, puts forward the solutions to technical difficulties, then achieved the desired effect, results a stator of Large-size wire Hair-pin motor was trial produced.

【Keywords】Large-size wire; Hair-pin Winding; Process; Technical difficulty

引言

发卡式绕组是一种新型线圈设计结构,此种线圈结构是一种截面为矩形的扁铜线绕组,线圈成型后的形状像一只固定头发的发卡,故称为发卡式线圈。发卡式绕组具有槽满率高、功率密度大、散热性能好等优点,近年来得到了快速的发展^[1]。在国外市场,发卡式绕组已应用广泛,然而,国内发卡式绕组应用相对较少,特别是大线规发卡式绕组电机的生产几乎为零。本文对大线规发卡式绕组电机定子工艺进行研究,针对大线规发卡式绕组电机定子的制造工艺及工艺技术难点进行研究与分析,攻克的技术难点有大线规发卡式绕组电机定子的制造工艺、线圈成型时绝缘破损、定子端部成型困难等,最终样机通过工艺验证。

1 发卡式绕组定子制造工艺

国外发卡式绕组定子制作工艺自动化智能化程度

高,但成本高,因此国内现阶段普遍采用半自动化工艺。本文研究的是一种半自动化大线规发卡式绕组定子制作工艺。

1.1 发卡式绕组定子制造工艺流程

发卡式绕组定子制作工艺与传统电机定子制造工艺相差很大,它是直接把电磁线成型为发卡式线圈后插入铁心槽中,再将线圈直线脚端扭头后焊接成定子的非引出线端。发卡式绕组定子的制造工艺流程为:线圈制作→插槽绝缘→插线→端部成型→端环焊接→焊接处绝缘处理→电气检测^[2]。其中,线圈制作包括了断线和去纱工序,断线、去纱后的电磁线通过液压系统成型为绝缘完好的发卡式线圈。由于定子铁心与传统电机铁心制作工艺一样,本文不做赘述。

与传统电机工艺相比,发卡式绕组定子的线圈成型、插槽绝缘纸、插线、端部扭头等工序的每个操作步

第一作者简介:顾丽,硕士,湖南化工职业技术学院,毕业于哈尔滨理工大学,高级工程师,专任教师。

骤的精度均要求较高, 容错性小, 制作难度较大。

本文研究的大线规发卡式绕组定子制造工艺与现有市场发卡式电机最大的区别就是线圈线规大, 这导致线圈成型、插线、端部扭头工艺较市场发卡式电机难度大大增加。

1.2 大线规发卡式绕组定子制造主要工艺技术研究

(1) 线圈制作工艺

目前, 国内外厂家的线圈成型工艺主要有冲压成型、液压成型、折弯成型三种方式,

折弯工艺是机器人对电磁线一节一节折弯并成型发卡式线圈, 在国外市场有一定的应用, 其自动化程度高, 但设备费用高。国内线圈的成型工艺普遍采用冲压成型和液压成型。

考虑本文研究的是大线规绕组, 由于冲压系统的冲击力大, 致使线圈鼻部和 R 角处产生较大的应力集中现象, 进而导致在成型过程中, 线圈鼻部和 R 角与成型模具接触的位置容易发生绝缘破损^[3-4], 因而本研究的成型设备采用液压系统, 是液压油缸加模具的方式, 它有利于成型时缓冲, 减少绝缘破损的机率。

发卡式绕组电机定子每槽有多层线圈, 每层线圈的形状尺寸稍有不同, 所以需对每层线圈制作一种模具。

液压系统的工作步骤为: 将线圈模具安装在成型设备上, 手动放置电磁线在设备相应位置, 启动设备, 下模运行至档头处, 使线圈横向成 U 型, 然后上模向下运行, 成型为发卡式线圈, 线圈如图 1 所示。



图 1 发卡式线圈

(2) 插槽绝缘和插线圈工艺

采用 B 型结构的槽绝缘, 每个 B 型口中插入一个线圈的直线边, 可降低线圈绝缘破坏的机率, 同时可以加强匝间绝缘。

研究后形成的工作步骤为: 制作 B 型槽绝缘纸, 将 B 型槽绝缘插入铁心中, 在插入的时候应防止损伤绝缘纸, 保证插到位^[5]。再将线圈逐槽逐层插入 B 型

绝缘槽中, 保证槽绝缘完好。

(3) 端部成型工艺

端部成型是全新工艺, 将定子的非引出线端通过扭头模具进行整形, 将发卡式线圈的两个直线脚分别从相反方向扭到相应位置。操作步骤是先把扭头层对应的扭头模安装至扭头机上, 将线圈直线脚插入扭头模具, 扭弯线圈, 扭头到位。

(4) 焊点处绝缘处理工艺

扭头后, 将非引出线端修整后进行焊接, 焊接头直接裸露在外, 需进一步进行绝缘处理。发卡式绕组采用涂覆技术, 即将定子焊接层放置于涂覆装备中, 使焊接点置于涂敷材料中, 经过一段时间后, 取出定子, 焊接头均匀涂覆绝缘材料, 再通过烘培进行固化。

2 大线规发卡式绕组定子制作的技术难点

在研究过程中, 技术难点为线圈成型工艺研究、插线工艺研究和端部成型工艺研究。

目前, 国内普遍生产的是小线规、单层漆包绝缘结构的发卡式线圈, 成型过程中受力小, 线圈成型后绝缘完好, 大线规技术成型在国内的研究少之又少, 在国内没有搜到大线规线圈成型相关资料。本文研究的是截面近似方形大线规线圈, 在成型时受力大, 导致 R 角和鼻部都容易破损绝缘, 大线规线圈成型技术是本研究的最大难点。

在插线过程中, 由于槽绝缘纸的强度较低, 当线圈插入铁心槽中时, 其摩擦、挫伤等很容易导致槽绝缘纸损伤, 同时, 引线端端部层与层之间相互摩擦, 也产生了线圈绝缘破损现象。

大线规绕组的扭头整形较小线规需要更大的力矩, 在研究初期, 出现了扭头后没有扭到相应位置、内外层错层的问题, 且在扭头的过程中, 损毁了铁心端外的槽绝缘纸。

3 大线规发卡式绕组定子制作的难点解决

针对以上所述的工艺技术难点, 本文进行了以下研究:

3.1 线圈成型难点解决

针对大线规线圈成型难, 成型过程中容易损伤绝缘的问题, 从以下几个方面进行了改进:

(1) 成型设备的改进: 改进前, 弯 U 动作由液压方式实现, 而端部成型动作是由冲压方式实现, 由于冲压过程瞬间冲击速度大, 线圈瞬间受力大, 故很容易伤害线圈。为减小瞬间冲击力对线圈绝缘的损伤, 线圈成型方式由冲压成型改用液压成型, 便于成型时的缓冲^[7,8]。

(2) 成型模具的改进: 改进后对模具进行淬火热

处理, 硬度达到 HRC50 以上, 进行去锐边倒圆、抛光, 提高表面粗糙度; 模具上的线圈限位采用滚轮代替原来滑块, 降低线圈成型过程的摩擦力^[6-8]。

(3) 工艺方法的改进: 为利于润滑, 每根线圈成型前应对模具表面喷油雾; 在线圈横向折弯成 U 形后, U 形模往后退 1mm 左右再端部纵向成型, 以防 U 形模具卡紧线圈导致端部纵向成型时摩擦力增大, 加大对线圈拐角处的伤害^[7-8]。

(4) 原材料的改进: 改进前, 原材料采用的膜包线, 改进后采用了漆加膜包线, 增加了电磁线绝缘强度, 同时降低了电磁线的刚度^[8]。

(5) R 角和鼻部防护: 在线圈成型前, 在 R 角和鼻部处加包聚酰亚胺薄膜进行防护。

3.2 插线难点解决

针对槽绝缘破损的原因, 从以下几个方面进行了改进:

1) 更换槽绝缘: NHN 复合箔是由 NOMEX 和聚酰亚胺薄膜两种材料复合而成, 其机械性能和电气强度都优于 NOMEX, 在插线过程中, 即使表面绝缘纸有轻微破损, 复合箔仍能保证良好的电气绝缘强度, 保证其绝缘功能性。

2) 修磨线圈直线脚锐边: 在插线过程中, 线圈直线脚易碰伤槽绝缘纸, 对直线脚进行倒角修磨, 去掉锐边, 使其圆滑过渡, 可大大降低插线过程中碰伤槽绝缘纸的概率。

3) 引出线端防护: 在插线过程中, 为防止引出线端层与层之间的摩擦导致绝缘破损, 在线圈的端部整圈加垫一块 NHN 复合箔, 以防护线圈绝缘。同时, 每个线圈之间都通过复合箔相隔, 加强了匝间绝缘。

3.3 端部成型难点解决

研究初期, 端部成型在扭头后没有扭到相应位置, 出现了内外层不能重复、错层等问题, 且绝缘纸容易损坏, 为解决此问题, 进行了如下改进:

(1) 扭头设备改进: 针对大线规绕组定子在扭头时需要更大的力矩, 在原有扭头设备的基础上, 根据经验, 配置了功率更大的油缸, 加长了扭头模力臂, 实现了扭头一步到位, 解决了扭头错层问题。

(2) 槽绝缘防护: 在原有的设计上, 由于线圈端部尺寸受限, 伸出铁心部分的线圈直线部分长度很短, 在扭头过程中, 槽绝缘纸和线圈一并扭转, 导致槽绝缘纸破损。为保护槽绝缘, 进行了设计改进, 增加了伸出铁心的线圈直线长度, 再将伸出铁心的槽绝缘纸尺寸由原来改短, 在扭头过程中, 很好的防护了槽绝缘纸。

4 研究结果

经过以上对大线规发卡式绕组定子的工艺研究及改进, 最终完成研制一台电气性能合格的定子。

产品实物见图 2 所示^[8]。



图 2 大线规发卡式绕组定子

5 结论

本文研究了一套大线规发卡式绕组定子制作工艺方法, 通过不断的尝试及探讨, 成功完成一台定子的试制, 提出了在研究过程中一些工艺技术难点及相应的解决措施, 可为后期的大线规发卡式绕组定子研制提供思路和指导。其中, 针对大线规发卡式线圈设计, 特别说明一点: 在嵌线后保证前后绕组不干涉的前提下, 建议发卡式线圈的鼻部可尽量设计平滑过渡, 便于成型^[3]。

参考文献

- [1] 丁荣军, 刘侃. 新能源汽车电机驱动系统关键技术展望. 中国工程科学: 2019 年, 第 21 卷, 第 3 期.
- [2] 史智理, 侯飞跃. 浅谈新能源汽车驱动电机. 汽车实用技术: 2019 年, 第 24 期.
- [3] 郑宇华, 罗超, 栗诗雨. 线圈成型应力对线圈绝缘质量的影响. 中国铁路装备: 2018 年, 第二期.
- [4] 郭江平, 陆超, 丁禄振. 多层叠绕大截面线圈制作及多种线圈交替向嵌线工艺优化. 电机与控制应用: 2020 年, 第 8 期.
- [5] 王岱雅. 电动机定子绕组嵌线机的设计. 长沙交通学院学报: 2000 年 12 月, 第 16 卷, 第 4 期.
- [6] 凌翠平, 韦在凤. 定子绕圈制作中的绝缘损伤问题解决. 电机与控制应用: 2014 年, 第 5 期.
- [7] 肖连新, 顾丽, 肖孝轩, 沈小冒, 李儒彬, 解晓磊, 裴鸣. 大线规发卡式漆包膜包线圈成型技术. 电机与控制应用: 2020 年, 第 8 期.
- [8] 韩明达. 发卡式电机定子线圈成型方法研究. 装备制造技术: 2020 年, 第 5 期.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

