

牵引电机定子无损退槽楔工艺研究

那春龙 陈超玉 彭 慧

(中车株洲电机有限公司, 412001, 株洲//第一作者, 高级工程师)

摘要 目的:由于槽楔、线圈与铁心已通过绝缘漆固化为整体,牵引电机检修时,需在不损伤定子铁心与线圈情况下,将槽楔从铁心槽内退出,其技术难度较大。因此,须对无损退槽楔装置及其工艺进行研究。方法:基于对定子绕组结构、传统退槽楔装置结构及其工艺方法存在问题的分析,提出一种无损退槽楔装置。该装置包括槽楔切割装置和优化后的退槽楔装置两部分。用槽楔切割装置对槽楔进行切割,在径向、轴向与周向对槽楔切割装置进行限位的条件下,切割片旋转并伸入槽楔内将槽楔切割一定深度,为了保证不损伤线圈,切痕深度小于槽楔厚度,可降低槽楔在铁心槽内的刚度;优化后的退槽楔装置抵至槽楔与线圈搭缝,并沿轴向推动将槽楔从铁心槽内顶出。通过对槽楔切痕深度、端部限位位置、退槽楔作业工艺性以及退槽楔后定子质量状态等进行分析,确认无损退槽楔装置及其工艺方法的可靠性。结果及结论:通过验证与分析,确认无损退槽楔装置及其工艺方法可行性,既可顺利将槽楔退出又可有效保证定子铁心与线圈的完整性。

关键词 牵引电机; 定子; 无损退槽楔装置; 工艺方法

中图分类号 TM307

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.12.043

Research on Non-destructive Wedge Removal Process for Traction Motor Stator

NA Chunlong, CHEN Chaoyu, PENG Hui

Abstract Objective: During the maintenance of traction motors, it is challenging to remove the wedges from the stator slots without damaging the stator core and coils, as the wedges, coils, and core are solidified as a whole through insulating finishes. Therefore, there is a need for research on a non-destructive wedge removal device and the associated process.

Method: Based on an analysis of the structure of the stator windings, the issues with conventional wedge removal device structure, and the associated process, a non-destructive wedge removal device is proposed. The device consists of a wedge cutting device and a wedge retracting device. The wedge cutting device cuts the wedge by rotating the cutting piece and extending it into the slot wedge, the cut is made at certain depth radially, axially, and circumferentially while being limited by

positional conditions in these directions. The cutting depth is kept smaller than wedge thickness to avoid damages to the coils. This reduces the stiffness of the wedge in the core slot. The wedge retracting device is pushed to the attaching gap between wedge and coil and is pushed along the axial direction to push the wedge out from the core slot. Through the analysis of wedge cut depth, the limiting position of the end, the process quality of the slot wedge removal work, and the quality state of the stator after wedge removal, the reliability of the non-destructive wedge removal device and the process method is confirmed. **Result & Conclusion:** Through validation and analysis, it is confirmed that the non-destructive wedge removal device and the process method are feasible, which can smoothly withdraw the wedge and effectively ensure the integrity of the stator core and coil.

Key words traction motor; stator; non-destructive wedge removal; device; process method

Author's address CRRC Zhuzhou Electric Co., Ltd., 412001, Zhuzhou, China

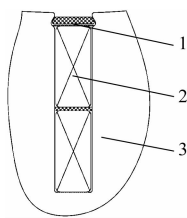
牵引电机返厂检修时,要求在不损伤定子线圈与铁心的情况下将槽楔从铁心槽内退出,即无损退槽楔。但槽楔厚度(约为1.6 mm)较薄,且槽楔与定子线圈与铁心已固化为整体,其刚性较强,退槽楔作业难度较大,且极容易损伤定子线圈。基于以上问题,对牵引电机定子无损退槽楔工艺进行研究,并通过试验确认了其可靠性。

1 定子绕组结构与传统退槽楔工艺

1.1 定子绕组结构

牵引电机采用的是外定子结构,定子主要由定子铁心、线圈与槽楔等零部件组成,定子铁心内圆设有铁心槽,定子嵌线时,将包扎绝缘材料的成形线圈与槽内绝缘嵌入定子铁心槽内,并将槽楔嵌入位于定子铁心槽口的燕尾槽内,最后定子整体进行真空压力浸漆处理而将定子线圈、槽内绝缘、定子铁心与槽楔之间的气隙填充饱满,并经高温烘焙处

理,使整个定子固化形成一个整体,如图 1 所示。



注:1—槽楔;2—定子线圈;3—定子铁心。

图 1 定子绕组结构

Fig. 1 Stator winding structure

1.2 传统退槽楔工艺

1.2.1 传统退槽楔装置

传统定子退槽楔的原因因为定子绕组发生击穿等故障,需将定子线圈从铁心槽拔出并作报废处理。为了保证定子线圈顺利拔出,需先退出槽楔。但在此情况下,不需考虑损伤定子线圈的问题。传统退槽楔工具为专用的镊子,其形状如图 2 所示。镊子本体及后端为长方形结构,可便于施力;镊子前端带有刃口,较为锋利,可抵抗槽楔与铁心、线圈之间的粘结力并撬起槽楔;刃口与镊子本体之间设有坡口结构,可便于被撬起的槽楔顺着坡口滑出;镊子宽度略小于铁心槽宽,可使镊子保持在铁心槽内而不损伤铁心。

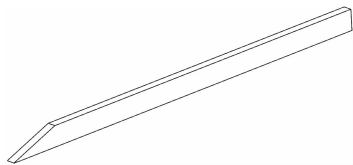
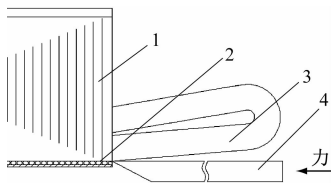


图 2 传统退槽楔用镊子

Fig. 2 Traditional chisel for removing wedge

1.2.2 传统退槽楔工艺

将镊子与铁心槽内的槽楔对中,刃口抵至槽楔端部与定子线圈结合部位,下表面贴紧线圈,用手锤沿轴向敲打镊子后端使其沿着铁心槽移动并将槽楔从铁心槽内敲出,如图 3 所示。



注:1—定子铁心;2—槽楔;3—定子线圈;4—镊子。

图 3 退槽楔作业

Fig. 3 Wedge removal operation

1.2.3 存在问题

传统退槽楔工艺存在如下问题:① 槽楔与定子铁心、线圈固化为整体,槽楔刚度较高,采用手锤敲打镊子退槽楔,作业难度较高,作业效率较低;② 退槽楔作业极容易损伤定子线圈,达不到无损退槽楔的要求。

2 无损退槽楔装置及工艺

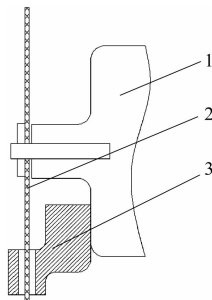
通过反复技术摸索,对无损退槽楔工艺方法进行研究,为了降低槽楔在铁心槽内的刚度,在不损伤定子铁心与线圈的前提下先对槽楔进行切割,然后再将槽楔从铁心槽内推出。

2.1 无损退槽楔装置

2.1.1 槽楔切割装置

基于对定子绕组结构的分析,选用风动切割机配切割片对槽楔进行切割,风动切割机中间部位设有旋转轴,切割片安装旋转轴上并锁紧,风动切割机与外部气源连接提供旋转动力,进而带动切割片旋转并对槽楔进行切割。

为了不损伤定子铁心与线圈等零部件,而设计了限位装置。限位装置上方设有法兰面,与风动切割机的法兰面对接后采用螺栓固定;限位装置中间部位设有切割片避让孔,切割片通过此孔伸出限位装置;限位装置下方设有限位面,可与槽楔表面良好配合,通过调节切割片伸出限位面的长度进而控制槽楔切割深度,如图 4 所示。



注:1—风动切割机;2—切割片;3—限位装置。

图 4 槽楔切割装置

Fig. 4 Wedge cutting device

2.1.2 无损退槽楔装置

基于传统退槽楔作业存在镊子刃口戳伤线圈绝缘的问题,分析并优化退槽楔用镊子结构,调整镊子前端刃口位置与下表面呈 1° 角度,如图 5 所示。



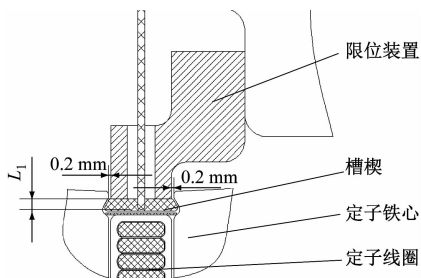
图 5 无损退槽楔装置

Fig. 5 Non destructive wedge removal device

2.2 无损退槽楔工艺

2.2.1 槽楔切割

1) 切割深度限位。考虑槽楔切割装置自身误差以及槽楔厚度为 1.6 mm 等要素,调整切割片伸出限位装置限位面的长度 L_1 小于槽楔厚度,使槽楔预留一定厚度未被切割,避免切痕贯穿槽楔而损伤定子线圈。同时限位装置与铁心槽之间的间隙单边为 0.2 mm,以保证限位装置不损伤定子铁心且保持在铁心槽内,如图 6 所示。

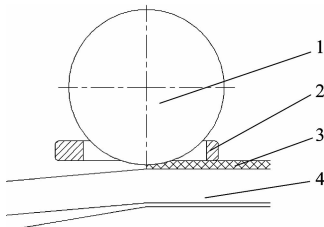


注:1—限位装置;2—槽楔;3—定子铁心;4—定子线圈。

图 6 槽楔切割

Fig. 6 Wedge cutting

2) 端部限位。为了避免起头、收尾位置切割线圈端部,需在槽楔切割起头、收尾位置调整切割片中心线与铁心端面基本平齐,如图 7 所示。



注:1—切割片;2—限位装置;3—槽楔;4—定子线圈。

图 7 端部限位

Fig. 7 End limit position

2.2.2 槽楔退出

槽楔切割后,用优化后的镊子将槽楔推出。在槽楔切割起头位置将镊子刃口抵至槽楔与线圈搭接缝处,确认镊子与槽楔对中且呈水平状态(下表面贴紧在线圈上),沿着铁心槽手推镊子将槽楔退出。

3 试验验证

3.1 退槽楔前检查

- 1) 目视检查定子铁心无散片、变形、锈蚀与磕碰伤等异常情况。
- 2) 目视检查槽楔无松动与破损等异常情况。
- 3) 目视检查线圈无烧损与破损等异常情况。

3.2 槽楔切割

3.2.1 切割深度确认

调整切割片伸出限位装置限位面的长度,调整游标式深度尺刻度并锁紧,将深度尺的游标端面抵紧限位装置限位面,旋转切割片,确认切割片最大伸出长度处与深度尺限位块贴合,即确认切割片伸出限位装置限位面的长度。通过反复技术验证与摸索,分别确认切割片伸出限位装置限位面长度为 1.36 mm、1.42 mm,并分别对槽楔进行切割。

用深度指示表对槽楔切痕深度进行测量:先用深度指示表限位块贴紧在铁心齿顶上,指针伸入铁心槽内抵紧槽楔,将指示表读数清零处理;用深度指示表限位块贴紧在铁心齿顶上,指针伸入槽楔切痕内,读取切痕深度,如图 8 所示。其测量结果如表 1 所示。



图 8 槽楔切痕深度测量照片

Fig. 8 Photo of wedge cutting mark depth measurement

由表 1 可知,槽楔切痕深度在 1.38 ~ 1.51 mm 范围内,小于槽楔厚度 1.6 mm,槽楔剩余 0.09 ~ 0.22 mm 未被切割,可有效避免切割定子线圈。

表 1 槽楔切痕深度测量情况

Tab. 1 Measurement data of wedge cutting depth

切割片伸出长度/mm	槽楔切痕深度/mm			
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值
1.36	1.45	1.46	1.38	1.43
1.42	1.51	1.50	1.47	1.49

3.2.2 端部限位

用记号笔在槽楔切割限位装置上与切割片中心线对中的位置画标志线。在槽楔切割起头、收尾位置,调整限位装置上标志线与槽楔端面平齐。

3.2.3 槽楔切割

分别在切割片伸出限位装置长度达到 1.36 mm、1.42 mm 条件下,用风动切割机配合槽楔切割限位装置,切割片沿着铁心槽对槽楔切割 1 条切痕。槽楔切割后,检查槽楔两端切痕基本达到槽楔端面、线圈端部不存在切痕、定子铁心无损伤等。槽楔切割如图 9 所示。



图 9 槽楔切割照片

Fig. 9 Photo of wedge cutting

3.3 退槽楔

在槽楔切割起头位置将撬子刃口抵至槽楔端部起头位置,确认撬子与槽楔对中且呈水平状态(撬子下表面贴紧在线圈端部槽口上),沿着铁心槽手动推动撬子将槽楔退出,如图 10 所示。

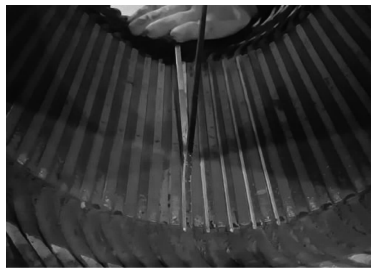


图 10 退槽楔照片

Fig. 10 Photo of slot wedge

3.4 退槽楔后检查

- 1) 逐槽检查线圈端部无切割痕迹。
- 2) 逐槽检查线圈直线部位无切割痕迹。
- 3) 检查定子铁心槽无磕碰与变形等情况。

退槽楔后定子状态如图 11 所示。



图 11 退槽楔后定子状态

Fig. 11 Stator status after removing wedge

3.5 验证分析

1) 切割片伸出限位面的长度分别达到 1.36 mm、1.42 mm,槽楔实际切痕深度在 1.43 ~ 1.51 mm 范围内,小于槽楔厚度 1.6 mm,切痕未完全贯穿槽楔,可有效避免损伤定子线圈。

2) 槽楔切割后,定子铁心无损伤等异常情况,确认槽楔切割作业不会损伤定子铁心。

3) 传统退槽楔采用手锤敲打撬子,作业难度较高,且容易损伤定子线圈。无损退槽楔在退槽楔前对槽楔进行切割,降低了槽楔的刚度,可推动撬子直接将槽楔退出,作业较为容易,且不会损伤定子铁心与线圈,达到无损退槽楔的工艺要求。

4 结语

通过以上验证分析,确认无损退槽楔工艺可在不损伤定子铁心与线圈的情况下将槽楔从铁心槽内退出,并通过批量化生产应用,产品较为稳定,且降低了退槽楔作业的难度与劳动强度。该无损退槽楔工艺对其他类似结构电机退槽楔工艺具有一定的参考价值和实际意义。

参考文献

- [1] 斯通,卡伯特,博尔特,等. 旋转电机的绝缘: 设计、评估、老化、试验、修理[M]. 白亚民,王劲松,梅志刚,等,译. 北京: 机械工业出版社, 2016: 19.
- STONE G C, CULBERT L, BOULTER E A, et al. Electrical insulation for rotating machines: design, evaluation, aging, testing, and repair[M]. BAI Yamin, WANG Jinsong, MEI Zhigang, et al. Trans. Beijing: China Machine Press, 2016: 19.

(收稿日期:2021-06-12)