

电机智能制造中带绕组定子铁心入壳压装工艺的改进

黄先锋, 王金玉, 刘 强

(上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司, 上海 200063)

摘 要: 对电机总装关键工艺——有绕组铁心入壳压装技术——进行分析和研究。在智能制造前提下, 对定子入壳压装工艺进行改进。设计了数字化卧式定子机壳自动压装设备及工装, 并由 PLC 系统集中协调控制, 可实现机壳定子的自动定位、卧式装夹与压装、压装参数的采集/反馈/监控、与数字化车间运行管理系统交互等功能。实际应用表明: 采用改进工艺后, 定子入壳压装效率提高 40%, 产品不良率降低 85.7%, 人工减少 30%。

关键词: 电机; 智能制造; 带绕组铁心自动压装; 卧式压装

中图分类号: TM 305 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2020)07-0093-06

doi: 10.12177/emca.2020.062

Improvement of Pressing and Loading Technology of Stator Core with Winding in Motor Intelligent Manufacturing

HUANG Xianfeng, WANG Jinyu, LIU Qiang

(Shanghai Engineering Research Center of Motor System Energy Saving Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: Pressing technology of winding core into shell, as a key process of motor assembly, is analyzed. In order to achieve intelligent manufacturing, the process of pressing the stator into the shell is improved, and the digitalized horizontal automatic pressing equipment for stator casing and the matching tooling, which are controlled and coordinated by PLC system, are designed. This pressing equipment can realize the functions of automatic positioning, horizontal clamping and pressing, collecting/feedback/monitoring of pressing parameters, interaction with the digital workshop operation management system, etc. Practical application results show that the pressing efficiency is increased by 40%, the product defective rate is decreased by 85.7%, and the manpower is reduced by 30%.

Key words: motor; intelligent manufacturing; automatic pressing of stator core with winding; horizontal pressing

0 引 言

由制造大国向制造强国转变, 实现中国制造业自动化、智能化和信息化, 已成为新时期中国经济发展面临的重大课题^[1-2]。电机是工业自动化、智能化的重要工具, 同时也是中国制造业的重要组成部分^[3], 因此实现电机自动化生产极其重要。电机带绕组定子铁心入壳压装是电机总装的主要

工序之一, 是电机各配件、组件集成中非常关键的一道工序, 它关系到电机的整体质量和使用寿命^[3]。定子铁心入壳压装质量直接影响电机成品的质量、维护保养以及在实际运行中的性能参数^[4]。

传统电机压装工艺通常采用通用设备——立式压机——完成带绕组定子铁心的入壳压装, 效率低, 安全隐患高, 质量一致性难以保证。近年

收稿日期: 2020-03-30; 收到修改稿日期: 2020-05-21

作者简介: 黄先锋(1972—), 男, 高级工程师, 研究方向为电机智能制造和工艺改进。

来,随着智能制造的推进,国内研究者开始将目光聚焦在电机总装工艺改进上。左永放^[5]提出了新的电机总装流水线方案,但并未提及入壳压装工艺。电机行业对电机制造的研究也多集中在电机总装,对于电机入壳压装工艺的研究均停留在立式压装工艺上,鲜有涉及压装工艺及其自动化改进方面的讨论,例如张利华等^[6-7]从上料吊具和压机局部结构的角度对压装效果进行了研究,但未提及自动压装方案和取代现有压机的设备。

随着智能制造的发展,在电机制造部分工艺逐步引入自动化设备的背景下^[8],亟需对电机总

装关键工艺——带绕组定子入壳压装工艺及其专用装备进行研究和开发。本文针对目前压装工艺背景及现状,对电机带绕组定子铁心入壳压装的工艺和设备进行研究和探索,解决传统工艺存在的难题,提升该工艺的生产质量和效率。期望该成果能够在一定程度上促进电机智能制造的研究。

1 现有技术情况

传统带绕组定子铁心入壳压装设备为立式压装机。通常的压装流程如图 1 所示(根据液压机的不同,顺序可调整)。

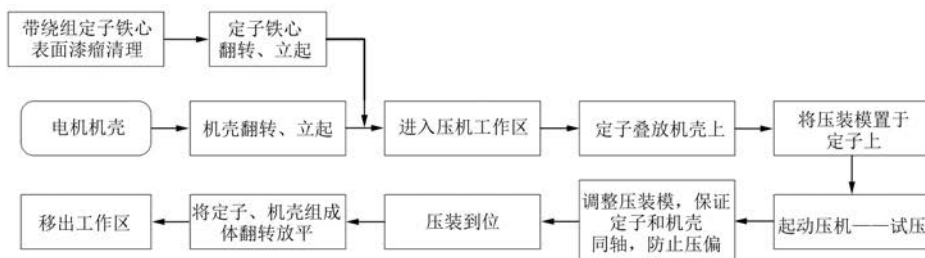


图 1 传统定子入壳压装工艺流程图

立式压装机包括立式四柱式液压机、龙门式液压机、单柱式液压机等,是目前大部分中小型电机厂定子入壳压装普遍采用的设备。立式压装是一种比较成熟的工艺方法^[9-11]。但立式压装方式及堆叠式装夹方法(定子与机壳的装夹方式:机壳立于立式液压机工作区内,定子由吊具直接置于机壳上)存在安全和质量隐患较大、人工依赖严重、实现自动化难等弊端。

1.1 立式压装工艺存在的缺陷

(1) 安全隐患大,人工依赖严重。在进行电机规格为 H132 以上的带绕组定子铁心及机壳的转运、翻转工序[见图 2(a)]时,由于定子质量达几十至几百千克,机壳质量也在几十至几百千克,无法人工搬运与翻转,一般采用吊具完成。在实际吊装过程中,可能出现定子与机壳摆动情况,因而压装作业需要 2~3 人配合操作。不仅严重依赖人工操作,而且若操作者之间配合不当容易导致安全事故。国内曾有多家电机厂在安装现场出现操作工压伤手指或机壳翻转放平过程中由于惯性冲出伤人的事故。截至目前,尚无取代该种工艺的设备和方法。

(2) 质量隐患大。带绕组定子铁心入壳压装时,需要先完成定子翻转,再用吊具吊起上料、装夹。在此过程中,定子绕组需一端着地,保持立式状态,底部绕组承受整个定子的重量,极易损伤,使下部绕组底层或内部绝缘漆膜遭到破坏[见图 2(b)],导致匝间短路。

在进行带绕组定子铁心装夹时,将带绕组定子铁心直接置于机壳上[见图 2(c)],不论手工(H132 以下规格)还是采用吊具(H132 以上规格),都存在定位不准确、引起机壳止口擦碰定子绕组的可能。由于机壳止口较锋利,绕组的环氧树脂绝缘漆凝固干燥后硬度较高,二者发生擦碰很容易破坏绕组的绝缘漆层,造成电机“裸铜”,引发短路。定子与机壳定位不准确亦容易引起引接线遭到拖拉,导致引接线焊点接触不良,进而引起电机缺相[见图 2(d)]。电机厂在工序最后一般还需要人工检查绕组线包的损伤情况,增加了额外的人力成本。

(3) 实现自动化难,信息化程度低。通常,该种传统压装设备未配备信息化接口,对于压装数据、电机型号等加工参数只是存储,不具备反馈、

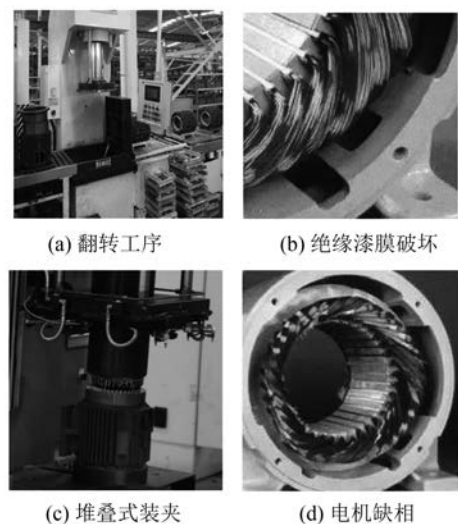


图2 传统立式压装工艺部分工序和缺陷

交互等功能,无法及时应对偶发性故障。传统电机制造业正在转型升级,难以实现自动化的定子入壳压装工艺将成为改造过程中的短板,严重制约电机制造自动化的提升与发展。

1.2 引发的故障及危害

相间、匝间短路:定子绕组绝缘漆膜遭到刮蹭后,出现部分电缆裸铜,在电机运行时可能引发电机匝间短路,甚至会引起相间绝缘性能下降,导致相间短路。短路将引起电流增大,可达正常匝间电流的2~10倍,使线圈严重发热、烧坏;三相电流不平衡,在电机满载运行时,出现过载现象^[12-14]。

缺相:当电机引接线遭到拖拉、引接线焊点出现接触不良时,容易导致电机缺相,进而引起电流增加,使转子严重发热^[15-18]。在电机满载运行时,使定子绕组电流急剧上升,导致绕组过热、烧坏;磁场失衡,可能会导致电机振动,进而破坏电机轴承和机座^[19]。

综上所述,短路、缺相引起的电流过大、过载、磁场失衡等现象均会导致电机温度升高,进一步损坏临近导线的绝缘性能,使电机绕组陷入恶性循环,最终导致熔断器烧断,甚至绕组烧焦、电机报废。

2 适于智能制造的压装工艺解决方案

为了解决带绕组定子铁心和机壳翻转带来的安全和质量隐患,需要重新设计压装工艺,避免定

子、机壳翻转;为了规避定子绕组与机壳装夹过程中引起的损伤,需在定子铁心入壳之前避免接触机壳,实现分离装夹,有效地保证作业安全和消除质量隐患。为了提高压装的速度和效率,应引入自动化设备和信息化系统,扩展压装工作区。为此,设计了数字化卧式定子机壳自动压装工艺、设备、系统以及卧式装夹工装。

2.1 数字化卧式压装设备及系统总体方案

数字化卧式压装机如图3所示。由PLC系统控制面板、机壳固定模具、伺服升降定位台、带绕组定子固定工装、快速换型模具和磁栅等组成。设备可实现机壳定子的自动定位、卧式装夹与压装、压装参数的采集与反馈、生产制造参数的交互等功能。

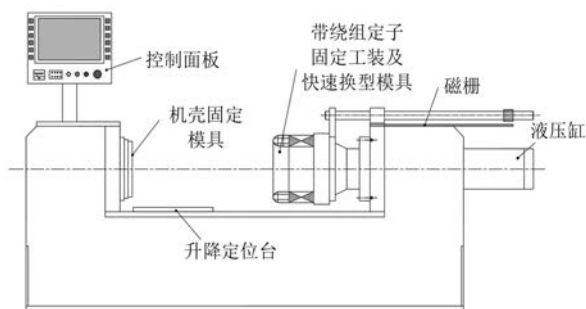


图3 数字化卧式压装机

该卧式压装机采用开放式工作区和横置式液压机,并将液压机储油箱、液压泵和电机内置,结构紧凑,占地面积小。在工作区两端分别设计安装机壳固定模具、升降定位台和定子固定工装。升降定位台与机壳固定模具相邻放置,避免升降定位台上升出现干涉。定子固定工装在工作区的另一侧,通过螺栓和法兰盘安装在活塞杆端部,通过液压机的伸缩实现定子往复运动,并设计配套的快速换型模具。机壳固定模具与定子固定工装中心线保持水平且共线。

各组成模块的功能作用如下:PLC系统是压机控制的核心,是实现人机交互的媒介;机壳固定模具与升降定位台(PLC系统协调控制)组成机壳自动装夹、定位系统;带绕组定子固定工装和快速换型模具组成定子装夹系统;磁栅用于压机压入行程数据和升降定位台升降数据的采集与反馈。

定子入壳压装时,首先通过控制面板设定压

装等参数,然后通过人工/桁架机械手/吊具/关节机器人(根据电机实际产量、规格配备)上料,经由机壳自动装夹、定位系统、定子装夹系统实现定子机壳的装夹与定位,最后由 PLC 控制系统根据磁栅反馈的数据完成压装。

2.1.1 机壳自动装夹、定位系统

机壳自动装夹、定位系统由机壳固定模具和伺服升降板组成,其结构如图 4 所示。综合考虑不同规格的机壳内径止口、中心高尺寸,设计了阶梯型机壳固定模具,台阶直径逐级递减,与机壳止口、内径尺寸相匹配。升降定位台包括支撑板、螺杆、齿轮和电机,该种固定模式适用于多规格电机机壳的固定,实现了机壳柔性装夹。工作时,将电机放置于支撑板上,由控制系统协调控制,实现机座定量往返运动,完成机壳装夹,依托于该压机固有机械结构。机壳固定模具与定子固定工装中心线水平且共线,实现机壳与定子固定工装的准确定位。

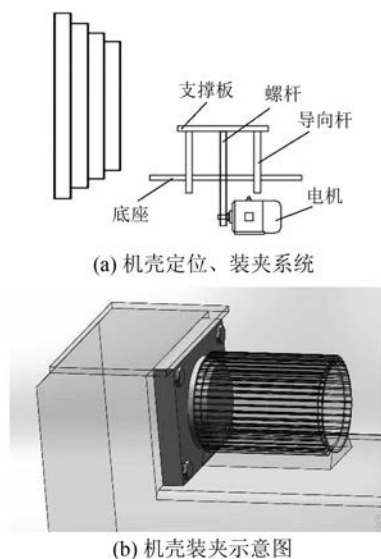


图 4 机壳定位系统

2.1.2 定子装夹系统

为了防止定子绕组损伤,提高定子柔性装夹能力,设计了专用定子装夹系统,其包括定子固定工装(见图 5)和快速换型模具。

如图 5 所示,定子固定工装设有定子绕组保护腔,可保护绕组不被破坏,提高产品质量。此外,基于电机定子铁心内径随着极数(2 极、4 极、6 极等)增加而增大的特点,设计了以 2 极铁心内径

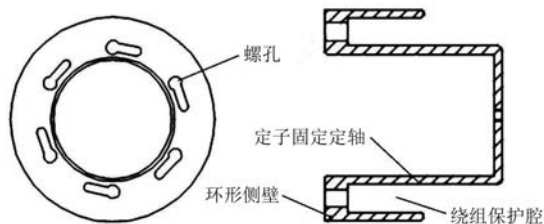


图 5 定子固定工装

为基准的快速换型模具。在压装完 2 极定子后,需更换其他极数定子时,由于定子铁心内径增大,可外加一个相应尺寸的桶形套,套在定子固定工装上,只需一个螺栓就可将其与定子固定工装固定。因此,该定子固定系统可以根据不同规格的定子尺寸快速更换,实现快速换型,显著提高生产效率。

2.2 数字化卧式压装控制系统

依托于所设计的卧式液压设备及工装,提出数字化卧式压装控制系统(PLC 控制系统),系统架构如图 6 所示。其主要功能包括压入行程及升降板自动控制、参数预存并与电机规格关联、数据采集、压装效果及压机运行状态的实时反馈、与分布式数字控制(DNC)系统实时数据交互等。

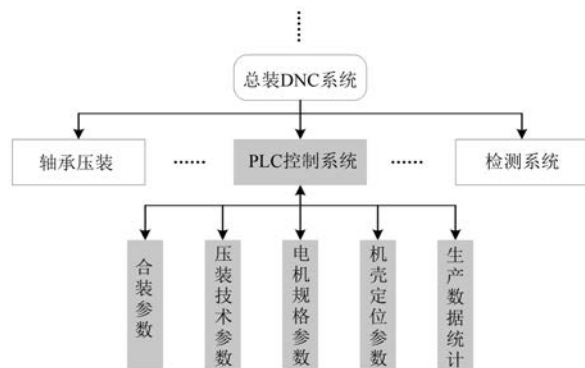


图 6 压装控制系统架构图

系统涉及的主要参数包括合装参数(液压缸行程参数)、压装技术参数(液压缸压力参数)、电机规格参数(预存参数,如机座中心高、机座长度及铁心长度等数据)、机壳定位参数以及生产数据(如压装数量等)。

系统功能实现方式介绍如下。

压入行程及升降板控制:通过采用 PLC 系统可间接接收车间数字化管理系统发送的生产信息及相关技术参数,对不同规格电机的型号、铁心长

度、合装机压装参数(均与电机规格关联)等数据进行预存,并可根据需要在现场进行调整。压装前通过 PLC 系统控制面板选择对应的电机型号,即可确定生产加工参数。在液压缸推杆和液压管路上分别安装磁栅和压力传感器,在升降定位台螺杆上安装磁栅,实时监测推进行程数据和压力数据,从而能够准确地根据生产参数进行压装工作,保证压装质量。

数据采集及状态实时反馈:压装时,系统对传感器采集数据进行分析,若出现压装参数满足要求但合装参数不到位的情况,该系统能够及时判断,并在控制面板反馈。

生产数据统计及数据交互:系统对铁心压装过程参数、电机型号、生产数量等进行监控,并将生产数据上传至总装 DNC 系统中,从而实现加工过程透明化、可控化。

2.3 电机数字化安装产线的配合

为了促进数字化卧式液压机推广,助力企业实际投入使用,以现场加工设备资源为基础,综合考虑实际电机生产规模、规格型号、成本等因素,为典型的生产模式提供个性化卧式压装规划方案。以下是 2 个典型方案。

(1) H132 以下规格电机,产量较高。可在压机前段工序加装两条传送带,一条输送绕组定子铁心,一条输送机壳。分别用机械手(机器人)将定子和机壳固定在各自的定位工装系统上。将压机设定为自动压装状态,实现定子入机壳压装自动作业。压装完的定子和机壳组合体采用机器人自动转运至总装流水线上,从而使整段工序实现全自动,满足批量生产的要求。通过 PLC 控制系统来控制输送线、数字化卧式压机、机械手(机器人)之间的相互协调和整个安装线的衔接,组成数字化、自动化带绕组铁心压装单元。

(2) H160 以上规格电机,产量相对较少。在压机旁设有定子、机壳储存区,并加装成品物料流转辊道。用吊具实现定子、机壳及成品的上下料。压机设定为自动、半自动压装状态,实现压装和装夹作业。压装完成后,通过辊道实现成品到下道工序的流转,从而满足规格大、产量不高的要求。

3 应用案例分析

卧式压装设备已在江苏大中电机股份有限公

司投入使用。实际应用现场如图 7 所示。



图 7 卧式压装设备应用现场

图 7 中的 2 种工况因产量不高、规格偏大,均采用吊具上下料,而后通过压机侧边自动输送辊道实现物料流转。具体操作流程为:利用吊具将机壳放置于升降定位台上;开启升降定位台,由控制系统控制升降定位台上升,完成机壳与阶梯型机壳固定模具的配合,实现机壳自动装夹和定位;将带绕组定子吊起,套在定子固定工装或快速换型模具上,整理定子端部绕组;开启卧式液压机完成入壳压装;利用吊具和成品输送带完成物料流转工作。

与采用传统压装模式的原设备相比,该卧式压装设备具有如下优点:

(1) 卧式压装设备实现卧式装夹、压装,减少了机壳和定子翻转、堆叠式装夹以及工装放置的过程,也省去了压装好的组合体翻倒放平的程序。生产效率提高了 40%,同时避免了带绕组定子铁心、定子翻转引起的人员和产品损伤。

(2) 与传统的带绕组定子铁心入壳立式压装方式相比,定子卧式入壳压装实现了自动装夹和压装,操作简单方便。节省人工 30%,减少了人工成本投入。

(3) 卧式压机系统的机壳升降定位台和液压缸压进系统采用伺服系统控制,可有效提高带绕组定子铁心入壳压装的精度,提高电机安装的质量。压装不良品率下降了 85.7%。

(4) 根据实际生产需求选择相应吊具辅助上下料,实现带绕组定子半自动入壳压装,并配合成品输送辊道,实现物料自动流转。通过 PLC 控制系统实现信息采集、反馈和数据交互,提升了总装关键工艺的自动化、信息化水平。

4 结 语

数字化卧式压装设备具有自动装夹、定位和

压装功能,并兼具压装状态反馈、制造数据采集、数据交互等数字化能力。该压装设备具有较强的柔性制造能力和兼容性,可根据实际产量要求,引入吊具、桁架机械手或关节机器人等自动化设备,进一步提高电机总装自动化水平,实现半自动化/自动化装配。卧式压装设备压装带绕组定子铁心入壳的工艺能够显著提高电机压装质量和生产效率,降低生产成本,为电机厂的数字化和智能化生产奠定基础。

【参考文献】

- [1] 周济. 智能制造——“中国制造 2025”的主攻方向 [C]//工业 4.0 与中国制造—第 204 场中国工程科技论坛暨智能制造国际会议, 2015.
- [2] 徐广林, 林贡钦. 工业 4.0 背景下传统制造业转型升级的新思维研究[J]. 上海经济研究, 2015(10): 107.
- [3] 周秀明. 国内外电机制造工艺对比简述[J]. 电机技术, 2007(1): 30.
- [4] 张倩丽, 付学玲. 可靠性与电机质量论述[J]. 微电机, 2007, 40(1): 75.
- [5] 左永放. 电机总装流水线的分析与改进[J]. 工业工程, 2009, 12(3): 93.
- [6] 张利华. 大中型电机定子压装反转吊具[J]. 中小型电机, 1998(6): 48.
- [7] 姜文军, 邢双君, 李尚达. 汽轮发电机定子铁心压装设备的压紧装置[J]. 上海大中型电机, 2018(4): 27.
- [8] 段金鑫. 智能制造在装备制造企业的应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(12): 10.
- [9] 黄国治, 傅丰礼. Y2 系列三相异步电动机技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 100-102.
- [10] 徐君贤. 电机与电器制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 80-81.
- [11] 胡志强. 电机制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 123.
- [12] 罗吉. 高压高效率三相异步电动机短路故障分析[J]. 防爆电机, 2018, 53(4): 30.
- [13] 牛志钧. 永磁电机制造关键工艺浅议[J]. 电机与控制应用, 2007, 34(4): 59.
- [14] 谢笑林, 张丕林. 防止电机定子裸铜的保护措施[J]. 起重冶金电机, 1989(3): 34.
- [15] 陈起旭, 王云洪, 杨来顺, 等. 铜转子三相异步电动机温度场流场耦合分析[J]. 电机与控制应用, 2017, 44(10): 77.
- [16] 赵跃进. 我国电机生产行业发展现状分析[J]. 工业节能与清洁生产, 2013(2): 17.
- [17] 朱鹏, 张晓锋, 乔鸣忠, 等. 五相集中整距绕组感应电机缺相容错控制[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(33): 131.
- [18] 田东. 多相感应电动机缺相建模与性能分析[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2009.
- [19] 李伟力, 李守法, 谢颖, 等. 感应电动机定转子全域温度场数值计算及相关因素敏感性分析[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(24): 87.

【期刊简介】

《电机与控制应用》(原《中小型电机》)创刊于 1959 年,是经国家新闻出版总署批准注册,由上海电器科学研究所(集团)有限公司主办的具有专业权威的电工技术类科技期刊。

期刊定位于电机、控制和应用三大板块,以中小型电机为基础,拓展新型的高效节能和微特电机技术,以新能源技术和智能控制技术引领和提升传统的电机制造技术为方向,以电机系统节能为目标开拓电机相关应用,全面报道国内外的最新技术、产品研发、检测、标准及相关的行业信息。

本刊每月 10 日出版,国内外公开发行人,邮发

代号 4-199。在半个多世纪的岁月中,本刊为我国中小型电机行业的技术进步与发展做出了巨大的贡献,在中国电机及其应用领域享有很高的声誉。

依托集团公司雄厚的技术实力和广泛的行业资源,《电机与控制应用》正朝着专业化品牌媒体的方向不断开拓创新,在全国科技期刊界拥有广泛的知名度,是“中国学术期刊综合评价数据库来源期刊”、“中国科学引文数据库来源期刊”、“中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊”,得到了业内人士的普遍认可,备受广大读者的推崇和信赖,多次被评为中文核心期刊、中国科技核心期刊、全国优秀科技期刊。