

# 电动机转子自动化装配产线设计

姚永鑫

(陕西军工人力资源有限责任公司 陕西 西安 710000)

**摘要:**近年来,随着智能化技术的飞速发展,电动机零部件产品的装配都实现了自动化与智能化。本文提出了针对小型电动机转子产品的自动化装配产线解决方案,通过分析电动机转子的装配工艺流程,设计了环形自动化产线,并根据工艺要求设置了多个装配工位,以满足对电动机转子零部件的自动化装配要求,提高生产效率和保证产品的一致性。

**关键词:**电动机转子; 自动化装配; 产线工位; 控制系统; 可靠性

## 0 引言

转子部件是电动机产品的一部分,目前在一些中小型企业中,在电动机转子部件的生产过程中,只有部分装配工序能实现半自动化,其余工序都需要人工完成,属于人工密集型的生产模式。生产过程中存在高温和有害气体等有害因素,为了减少操作人员数量、提高生产效率、提高产品一致性、降低人工成本,设计一条电动机转子自动化装配产线,实现对小型电动机转子部件的自动化装配。

## 1 当前工艺流程分析

当前电动机转子装配是在不同车间完成的,产品的主要生产工序有清洗、喷胶、烘干、叠装、预压、焊接、预烘、压紧、固化、焊接和卸模,各个工序之间的衔接主要依靠人工完成。分析当前工艺流程,转子组件装配主要具有以下问题:

- (1) 零件冲洗液为易燃物品,存在安全隐患;
- (2) 零件喷胶工序中,存在有害气体,环境恶劣,容易引起职业病;
- (3) 喷涂厚度均匀性无法保证,零件表面喷涂的厚度与喷枪高度、压力及喷涂时间有关,人工喷涂完全依靠操作人员的经验,无法得到统一的厚度;
- (4) 按照目前用户的生产工艺及设备,工人劳动强度高、生产效率低,无法扩大生产规模。

## 2 转子自动化装配产线方案设计

### 2.1 转子自动化装配产线布局

电动机转子自动化装配产线采用“0”型布局,如

图1所示,部分工位之间的机械设备可以共用。自动化装配产线主要由零件冲洗单元,涂胶、喷漆单元,组装、焊接单元,预烘干箱和烘箱单元等组成,通过机械手与传送带将产品在各处理单元、各个工位之间进行传送和搬运。

### 2.2 转子自动化装配产线工序设置

转子自动化装配产线设置有以下工序:

- (1) 转子零件冲洗,零件缺陷检测并筛选上料,零件喷涂烘干处理;
- (2) 零件二次检测并筛选上料,零件自动叠装,转子安装盖板及预拧紧,转子安装限位钢条,转子自动压装与拧紧;
- (3) 转子自动装铜条,单面焊接,预烘干处理(部分产品);
- (4) 二次自动压装(部分产品),烘箱热处理(部分产品),翻面二次焊接;
- (5) 拆除工装夹具,产品自动收集分类,喷胶废气收集,喷胶多余物收集,烘干设备废气收集,固化设备废气收集。

按照以上工序步骤完成转子部件的自动化装配。

## 3 转子自动化装配产线工位构成

### 3.1 清洗工位

超声波清洗工位主要完成零件的清洗。产品清洗后表面不得有油污及其他杂物,使用碳氢等有机溶剂为介质。超声波发生器、换能器、清洗槽、冷冻干燥槽、循环过滤系统、自动温控加热系统、冷凝装置、冷冻机组、上下料台、机械手、机架、控制面板等功能模块组成了清洗机。如图2所示,超声波清洗机工作原

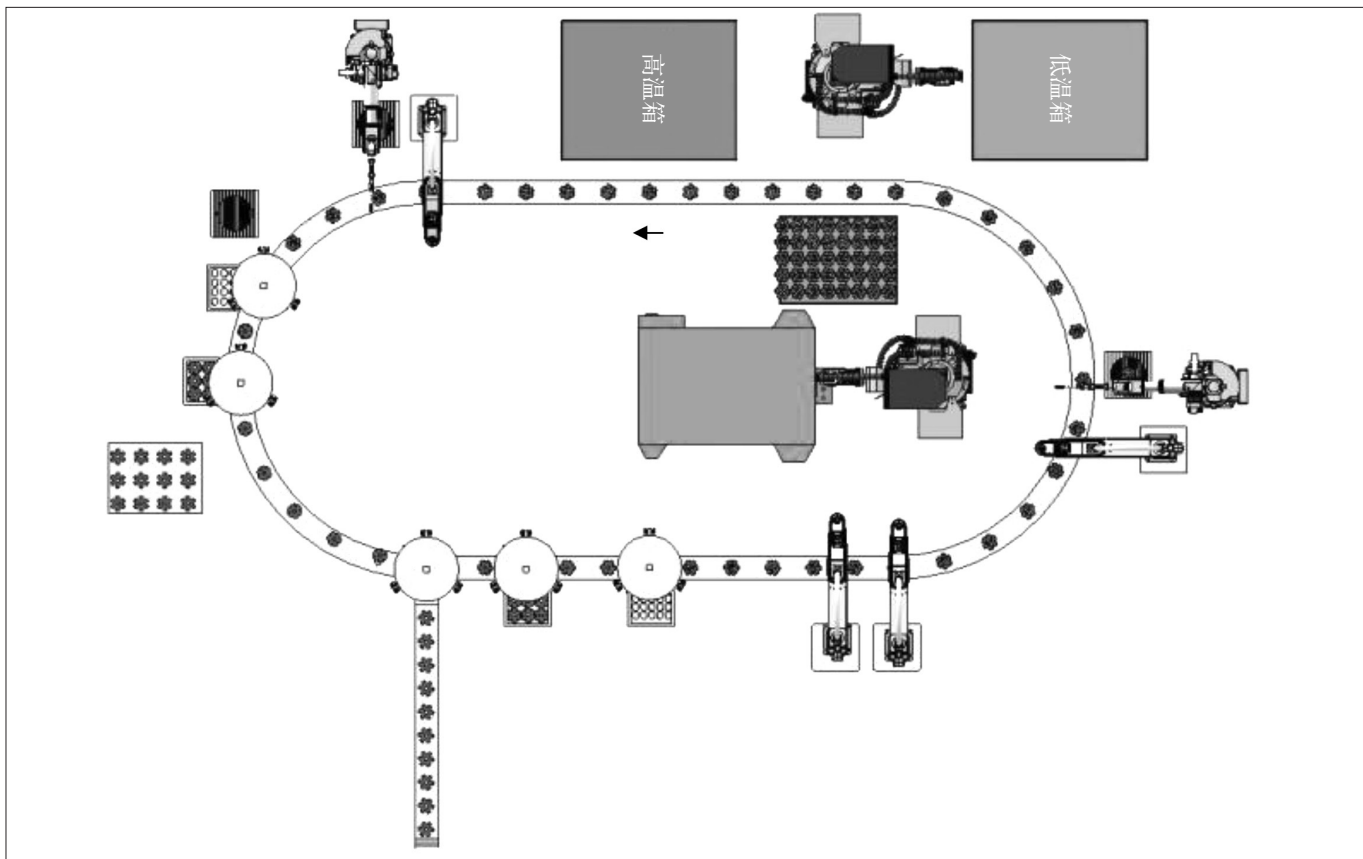


图1 转子装配产线布局图

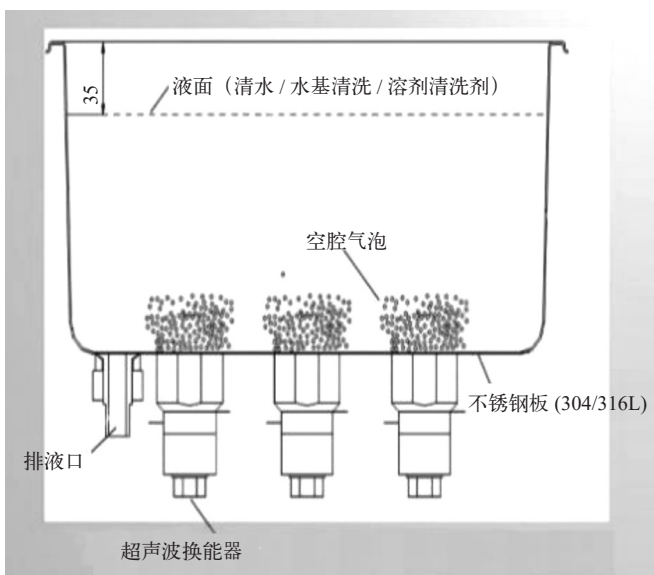


图2 清洗工位原理示意图

理是利用超声波发生器所发出的讯号，通过换能器转换成机械震荡，进而传播到清洗液中；强力的超声波在清洗液中以疏密相间的形式向被洗物件辐射，产生“空化”现象<sup>[1]</sup>，然后在清洗液中形成的“气泡”产生破裂；当“气泡”在到达被洗零件表面发生破裂的瞬间，产

生较大的冲击力<sup>[2]</sup>，致使物件的表面、深孔、缝隙中的污垢被分散、破裂及剥落，使零件达到净化清洁的作用。

清洗机是一个全自动设备，整个清洗过程由程序自动控制，由不锈钢材质制作的超声波清洗槽、超声波漂洗槽、蒸汽浴洗槽组成了一套连续清洗作业的装置。清洗时由机械手将装有工件的清洗篮抓取到上下料工位上。工件依次通过超声波清洗槽、超声波漂洗槽、蒸汽浴洗槽及冷冻干燥槽，并将清洗好的工件送回上下料工位，由单臂机械手在进出口处将工件卸下，然后再将清洗好的零件依次抓取到传输带上输送到下一个工位。

超声波清洗槽设有温度管理，槽内设有外贴铸铝加热板，可以进行间接加热，同时设有数显温度控制器，自动控温，温度可调，温度波动小。清洗槽内设置的超声波换能器为投入式超声波震板，底震式结构、可单独控制，超声波换能器频率高。超声波清洗槽可在自动控制、手动控制之间自由切换，自动控制情况下槽内无液不可开启超声；震动盒采用不锈钢板焊接而成。超声波设有独立的循环过滤系统，设计采用的过滤泵的过滤芯为微孔滤膜过滤芯，流通率高、过滤精度高。

清洗机内置一套制冷机组，冷气压缩机经管路与冷排管相连接，形成封闭式冷却系统；其在清洗槽、蒸汽槽上完成制冷，形成冷却区，防止有机溶剂挥发。制冷机配置高低压双重压力保护，设有延时开机保护。转子通过冲床加工好后，经过超声波清洗设备进行表面处理，处理好的产品摆放在于产线起始位置供上料。上料检测工位位于整个产线的最前端，是产线的起点，产品经过超声波清洗机后由视觉检测系统完成清洗质量检测，机械手将其码放在传送线上，为下一步表面处理做准备。

### 3.2 喷涂工位

喷涂工位是生产工艺的第一步，根据产品生产工艺要求不同，设计了三条不同的线体，满足不同产品的生产需求。喷涂工位具有以下特点：

(1) 在此工位根据零件的工艺要求对零件进行相应的涂胶或者喷漆工作；

(2) 使用伺服电动机驱动喷涂机构，以达到高速及精准定位的目的；

(3) 可支撑多工位同时喷涂，达到批量生产。

喷涂时根据产品的喷涂范围和喷枪的数量，选择合理的自动喷涂设备。喷漆柜采用水帘式或干式、万级或十万级无尘喷涂室，通过高效送风口送入喷房，喷涂环境为恒温恒湿。使用定制热风烘箱对完成表面喷涂的零件进行烘干处理，烘箱温度可实时调控。传输带的速度可实时调整，与整个产线联动，在保证烘干效果的情况下实现原材料零件的无压力传送。

### 3.3 叠装工位

叠装工位是利用视觉监测技术及机械手实现产品的监测和叠装，利用并联机械手和机器视觉系统共同完成对已喷涂零件的质量监测，将有缺陷、漆膜厚度不达标等问题零件进行剔除。合格零件叠装在本工位的工装上，传动单元将叠装好的产品输送至下一操作工位。

机器视觉系统在对缺陷产品进行筛选与分拣后，给机械手提供精准的坐标位置，利用零件定位孔对零件进行精准叠装。将相机移动到拍照位，通过零件与标准照片的对比进行缺陷检测，同时识别零件上的定位特征点，对零件再次进行位置定位。如果零件缺陷检测不合格，机械手根据定位点检测给出偏移量，将不合格零件移动到残次品收集单元，如果零件无缺陷，则引导机械手将零件进行叠放。

### 3.4 预压工位

利用并联机械手对已完成叠装的零部件完成上盖、

紧固螺母及定位条的安装。由于传送装置使用高精度伺服机构进行传动，所以整条产线的并联机械手在搬运工件时都可以和传送系统进行联动，这样既可以保证机械手在抓取工件时定位的准确性，又可以避免每个搬运工位都配备机器视觉系统，降低成本。此工位另一工艺难点在于安装紧固螺母时，螺母与工装的中心螺柱可能存在卡牙的问题。针对此问题，在螺母预拧紧安装时，增加弹簧与振动机构来进行螺母与螺柱的啮合，同时设置力矩检测传感器来检测设备所提供的转矩值是否符合工艺技术要求，从而进行设备与产品的保护。

### 3.5 压装工位

压装工位采用数控压力机及拧紧机构，对已预压的转子产品按工艺要求进行压装，同时对紧固螺母进行紧固，使整个产品在工装夹具的夹装下达到设定力矩值。在零件叠装完成后进行的压装环节对转子产品的性能至关重要。

目前工艺现场是使用液压加压装置进行压装，且没有产品压力检测环节。自动化产线将此环节更改为电压力装置，同时增加实时压力检测功能，在压装同时完成产品的压力检测，为用户产品质量提供数据支持。压装设备支持实时数据采集，支持条码输入和打印，支持 Access 数据库和 CSV 格式数据导出、曲线图片抓取等，并提供多种数据分析手段，支持 TCP 服务，能够发布压装参数和压装结果。这些功能使用户对每个产品质量数据的采集、分析与存储成为可能，使用户可以对产品进行全生命周期的跟踪与维护。

### 3.6 焊接工位

焊接工位是机械手配合焊接机器人在此工位完成物料搬运、物料翻转与物料双面焊接工作。使用焊接机械手而不采用固定焊枪加旋转工作台的原因在于用户的产品种类多。如果采用固定焊枪，那么旋转工作台的设计将会比较复杂，切换产品时需要进行大量的调整工作，而且在焊接环境下，对工作台的使用和维护都变得困难和复杂。利用焊接机械手来满足频繁切换产品规格的需求，在进行装配作业时只需要更改焊接机械手的运行轨迹，通过编写少量的控制程序即可实现，使得设备的柔性和可扩展性增强。焊接机械手的喷嘴大小和形状直接影响氩气保护区的保护范围和效果，喷嘴直径不宜过大或过小，过大会妨碍操作，浪费氩气，过小则熔池保护效果不佳，容易产生缺陷，并且会烧损喷嘴。

### 3.7 固化工位

对于部分产品,根据生产工艺要求,在焊接完成一侧端面的导条之后需要加热并保持一定时间,然后再进行二次加压,加压完成后进行二次加热,加热一定时间后,返回焊接工位,进行另一端面导条的焊接。根据这一需求,产线在焊接环节后增加一组热处理工序。

产品在完成一次焊接后,由机械手抓取至热处理的存料区,再由码垛机械手送入第一段预加热低温烘箱,在烘箱中进行规定时长的固化处理。在设定温度下进行加热固化处理后,将工件从第一段烘箱中取出,送至压机前侧,压机部位的配套机械手将热处理后的工件抓取至压机工作位置,按照设定压力进行二次压装。

压装完成后,工件经机械手抓取后放置到第二段高温烘箱,再由码垛机械手送入第二段加热高温烘箱,同样根据工艺需求进行定时、定温加热处理。完成后传送装置将二次加热后的工件送至第二焊接工位,由焊接工位机械手抓取至焊接工位,进行另一端面的二次焊接工作。

### 3.8 预留工位

此工位为工艺预留,根据类似项目的后期改进需求,此类自动化生产线需要对产品进行激光打标,对产品质量进行检测等。因此预留此工位为后续此类需求做前期准备,或为后期新产品的特殊工艺环节提供预留工位。

### 3.9 卸装工位

卸装工位是完成产品工装的拆除及成品收纳的工位,是自动化产线的最后一个工艺工位。在产品完成双面焊接后,利用并联机械手完成对产品的上盖与紧固螺母的拆除作业,拆除产品的工装,将紧固螺母与上盖板回收,将产品码放入收料机构,工装基座跟随输送装置输送至叠装工位参与下一周期的产品生产。

## 4 控制系统设计

电动机转子自动化装配产线的控制系统软件采用西门子 PLC 编程软件进行编写。上位机部分采用 WinCC 软件进行编写,PLC 部分采用博途软件进行编写。WinCC 是一款工业控制领域通用的应用程序,可以快速集成到自动化产线解决方案内;程序内置的所有操作和管理功能,可简单、高效地进行组态;可基于 Web 进行功能扩展,采用开放式标准,集成简便;集成的系统作为产品信息和商务信息展示的平台;也可采用选件和附加件进行功能扩展,适用于所有工业

和技术领域的解决方案<sup>[3]</sup>。

TIA 博途是全集成自动化软件 TIA portal 的简称,是西门子工业自动化集团发布的一款全新的全集成自动化软件。它是业内首个采用统一的工程组态和项目环境的自动化软件,几乎适用于所有工业自动化控制任务。借助该款全新的工程技术软件平台,能够快速、直观地为用户开发和调试自动化控制系统<sup>[4]</sup>。上位机主要包含一台 PLC 控制器和一套 Win CC 上位机组态软件,可实现以下功能:

(1) 对产线设备的管理。查看各子系统和单机设备当前开关机、生产状态、使用记录、维护记录等。

(2) 对产品设计参数的管理。实现转子生产过程设计参数的管理,实现工艺过程和参数的新建、复制、修改、删除、上传和下发。

(3) 对产品生产数据的管理。采用数据框、表格、图形等方式,显示设备使用情况、人员操作情况、产品加工记录、产品关键工艺参数等信息;能够依据时间、产品编号、操作者、设备等进行单个条件或组合条件的查询并生成结果。

## 5 产线可靠性设计

### 5.1 产线可靠性设计原则

整个产线规划采用高可靠性元器件,进行系统可靠性设计验证。系统可靠性设计主要从人身安全、电磁干扰和软件可靠性三个方面进行设计。电气系统的功能模块设置漏电断路器,防止操作人员和维护人员因触电造成人身安全事故。自动化产线上的转动部位都采用安全门锁,并在软件系统中对相关信号进行连锁或者互锁控制,提高生产线动作的可靠性。PLC 控制程序应用精炼的语句进行代码编写,减少程序冗余,提高程序的运行计算速度。电缆连接采用防插错结构连接器,防止人为插错连接器导致系统故障。机械设计、电气设计遵循系统可维护性设计原则,易损件更换方便;统计分析易损件清单和更换操作说明,减少生产线的维护时间。

### 5.2 产线可靠性建模

在满足产线高效智能运转的前提下,产线上的机械臂及其他工装设备力求结构简单,减少零部件数量,减少连接和传动环节。

产线采用成熟技术,进行通用化、系列化、模块化设计,对所采用的新技术、新工艺、新材料和新器件进行严格筛选,并按规定进行试验和验证。根据元

器件的功能特点、成熟度、规格、等级、质量和可靠性水平、使用环境要求及供货厂商等,按相关标准选购高可靠性元器件。

按照设备的功能定义及工作方式,各部分均为独立功能单元,由此定义设备的可靠性模型为串联模型。按照产线工位设备的布局,分析得到产线可靠性模型框图,如图3所示。

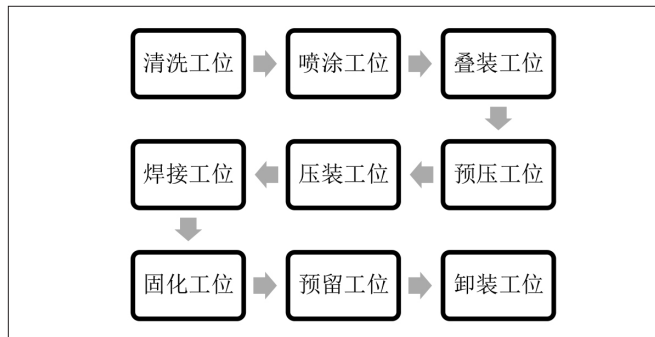


图3 可靠性模型框图

### 5.3 产线可靠性 MTBF 计算

上文建立的产线可靠性数学模型为串联结构,可以假设各个部件的失效率服从指数分布,则设备的可靠性预计结果是各部件失效率之和的倒数。其计算公式如下:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{ki} \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_p} \quad (2)$$

式中:  $\lambda_p$  — 设备的预计失效率;

$\lambda_{ki}$  — 各部件的预计失效率;

$MTBF$  — 设备的可靠性预计值。

设备的可靠性预计是根据产线所有设备部件对维修的要求,对产线上每个工位的设备易损部件的失效率进行查询(从机械设计手册中查取参考值),并由公

式(1)求得自动化产线设备的预计失效率,按照公式(2)计算获得产线设备可靠性预计值,结果为1106h,满足 $\geq 1000h$ 的指标要求。

## 6 结语

电动机转子自动化装配产线的设计以提高电动机零部件装配效率为目标,通过分析比对行业内现有电动机转子零部件装配产线的布局,根据用户的产品特点、工艺技术要求及产品质量控制要求,对电动机转子的生产装配工序进行了设计,以适用于小型电动机的大批量自动化生产。本文结合电动机转子的自动化装配特点,以及未来智能化产线发展趋势对产线进行设计,其生产数据可由远程控制终端实时掌控,针对不同规格产品的不同装配工艺参数,可以在产线的控制系统中进行调整,满足产线对多元化产品装配的需求。本文设计的自动化装配产线以机械手代替工人操作,保证了产品的一致性,提高了生产效率。

## 参考文献:

- [1] 新课标生物实验室新增仪器与建设介绍——超声波清洗器[J]. 教学仪器与实验, 2010, 26(04):39.
- [2] 无锡德鑫太阳能电力有限公司. 一种清洗黑硅电池片的装置:CN201420815906.4[P]. 2015-05-06.
- [3] 陈揆能. 空调装配自动化生产线工艺研究及系统设计[D]. 广州:广东工业大学, 2015.
- [4] 刘栋. 连续退火实验机温度控制模型开发与应用[D]. 沈阳:东北大学, 2019.

作者简介:姚永鑫(1989.09-),男,汉族,甘肃庆阳人,本科,工程师,研究方向:智能机械结构。

## (上接第10页)

[D]. 大连:大连理工大学, 2016.

[4] 谷帅坤,张宇航,付延河,等. 钛材球阀静力有限元分析[J]. 山西建筑, 2023, 49(3):78-82.

[5] 刘梦仙,李刚,李晓兰,等. 三位六通联动球阀的设计与应用[J]. 天津化工, 2023, 37(3):136-139.

[6] 刘合,温鹏云,宋微,等. “半浮动”取心保压球阀的设计研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2023, 50(2):173-180.

作者简介:陈百乐(1981.11-),男,汉族,浙江衢州人,本科,工程师,研究方向:阀门设计。