

电机轴智能制造方案

顾德军, 陈翔, 马莉

(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: 介绍了电机智能制造实施中电机轴加工产线设计原则和设计方案、产能平衡原则等。对比了 U 型和直线型电机轴加工产线排列方案的优缺点, 并介绍了产线的车间数据采集和信息交互等, 为电机行业的轴加工产线规划提供参考依据。项目改造后所需生产设备下降了 29%, 员工人数下降了 77%, 生产效率提高了 35%, 不良率由原来的 2.5% 降至 0.25%, 提高了产品质量的一致性。

关键词: 电机; 智能制造; 精益生产; 轴加工

中图分类号: TM 305 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2020)10-0074-06

doi: 10.12177/emca.2020.119

Intelligent Manufacturing Schemes of Motor Shaft

GU Dejun, CHEN Xiang, MA Li

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

Abstract: The principles, schemes and production balance of motor shaft production line design during the implementation of intelligent motor manufacturing are introduced. The advantages and disadvantages of U-shaped and linear arrangements of motor shaft production line are analyzed. The data collection and information interaction in the workshop where the production line is located in are introduced. These can provide a reference for the planning of shaft processing production lines in the motor industry. After the renovation of the project, the required production equipment is decreased by 29%, the number of employees is decreased by 77%, the production efficiency is increased by 35%, and the defective rate is decreased from 2.5% to 0.25%, improving the quality conformance of products.

Key words: motor; intelligent manufacturing; lean production; shaft machining

0 引言

为了提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力, 欧洲一些电机制造商(如西门子、宝马汽车的电动汽车电机制造工厂等)已采用了较为先进的智能化生产装备, 实现了优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产方式。近年来中国的电机行业企业虽然进行了大量的生产装备投入, 但核心加工设备、加工工艺以及智能化制造和管理水平与国际最高水平相比仍然存在较大差距, 行业内缺乏具有国际竞争力的骨干企业, 缺少国际知名品牌,

尤其是在高端产品的研发和制造领域缺乏市场竞争力, 导致中国虽然已经是电机制造大国, 但还不是制造强国。由制造大国向制造强国转变, 实现中国制造自动化、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]。

装备制造业是国民经济的支柱产业, 电机是核心驱动力, 也是劳动密集型企业, 随着中国经济发展进入新常态, 供给侧结构性改革不断深化, 传统装备制造业的经济动能逐渐减弱, 转型升级已迫在眉睫。在国家大力倡导和培育新动能, 发展新经济、新产业、新业态的背景下, 智能制造将成

收稿日期: 2020-06-15; 收到修改稿日期: 2020-08-05

作者简介: 顾德军(1973—), 男, 高级工程师, 研究方向为高、低压高效电机基础技术, 特种电机(核用电机、防爆电机)产品开发、标准技术。

为装备制造业转型升级和实现产业结构调整的必要趋势^[3]。

未来将是一个万物互联的新时代,5G 技术为传统产业的智能化改造奠定了良好的信息通信基础,劳动密集型产业的智能化融合迎来了发展良机。劳动密集型产业实施智能制造意义重大,能有效缩短产品研发设计周期、优化生产方式转变、减少供应链能源资源消耗、最大限度地降低各环节成本,推动生产效率和利润率不断提高,缓解企业“用工荒”现象,满足居民消费升级需求,最终实现产业优化转型升级。因此要借力全球智能制造创新技术,紧跟“中国制造 2025”战略计划,力争实现“弯道超车”,从追赶者变为引领者,实现制造大国向制造强国转变^[4]。

传统的电机行业,金加工的车间规划是按照不同的功能区如车削加工区、铣削加工区、磨削加工区等分布的,相同的设备摆放在一起,形成“批量加工”和“批量转移”的特点。这种分区适合大批量、少规格的产品,也存在物流路线长,零部件周转次数多等缺点,造成了极大浪费。大部分电机厂生产制造现状如下:

- (1) 产品品种多、批量小,但客户要求交期短;
- (2) 生产计划多变,及时交付率低,多方协同难,库存压力大;
- (3) 质量管理存在死角,产生缺陷产品,现场环境及防护措施不到位,容易导致安全事故;
- (4) 生产装备落后,劳动强度较大,机械化、自动化水平较低;
- (5) 劳动力年龄结构不合理、偏老龄化,劳动力整体素质低下,劳动力成本居高不下。

上述情况制约了电机企业的发展,特别是人为的工艺波动和旧机床的精度等级低,严重影响了产品质量,例如,电机整体质量的提升有很大的制约作用,针对电机行业品种多、批量小和人员老化的特点,进行企业升级刻不容缓。

目前,电机金加工的自动加工已经有成熟的方案,但是结合信息化的智能制造还较少,一般以单纯的自动加工线为主,单纯达到机器换人的目的,但是和信息化结合的方案很少,没有成熟的智能制造方案。随着工信部在电机行业开展电机智能制造方面的新模式应用项目,已经有成熟的生

产方案将作为示范在行业内推广,进一步提高电机行业整体水平。

1 电机传统轴加工工艺

电机的智能制造涉及到冲压、电工、金加工和装配等车间的建设,而金加工车间实现自动化更加容易,电机的主要金加工零部件为机座、端盖和轴,下文以轴为例介绍电机智能制造的产线方案。

传统轴加工基本工艺流程如图 1 所示。

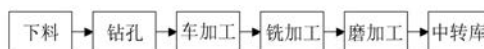


图 1 传统轴加工基本工艺流程图

传统的电机轴制造工序为:采用锯床锯圆钢下料;采用铣打机加工轴两端平面,钻中心孔;采用车床进行粗车、精车;采用铣床加工轴伸端键槽和风扇端键槽;最后采用磨床磨轴承档、轴伸档^[5]。

2 产线设计方案

某公司经过多家智能制造新模式的建设,积累了一定的经验,形成了智能制造的轴加工方案,并应用在生产上,效果良好。

2.1 产线方案设计原则

产线方案设计原则包括:

- (1) 提高轴加工的自动化、信息化能力,实现电机轴的智能制造;
- (2) 针对电机行业离散型生产模式,设计适应多品种、小批量的生产模式的柔性加工单元;
- (3) 采用智能机床,提高工艺稳定性和零部件的加工精度;
- (4) 提高产品质量,减少物流流转,减少工件缓存。

通过对厂家不同中心高电机转轴及其加工工艺进行研究,电机轴的智能制造产线有多种方案,如采用双头车床和斜床身数控机床的方案^[6]等。下文以 2 种典型方案为例进行介绍。

方案 1 采用 U 型排列,设备所占空间较小,采用关节机器人空间自由度和定位精度高,灵活性好,适合于任何轨迹或角度的工作。关节机器人抓取重量有限,抓手复杂,会影响抓手抓取重量,由于空间限制,料道方式也会受限制,适用于

大批量小型电机的转轴加工。

自动化加工单元由智能机床、机器人、上料仓、中转料道、下料仓、抽检模块、总控单元组成。该自动化单元布局模型以及完成后的实物如图2、图3所示。

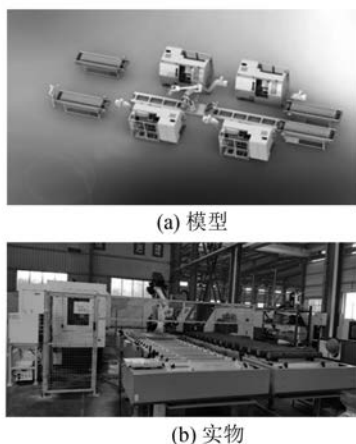


图2 方案1轴自动化加工单元布局模型及实物图

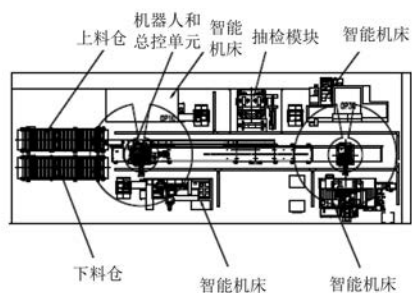


图3 方案1组成示意图

方案2采用直线排列,设备占用空间较大,桁架机械手承载能力强,工件抓手多样,适合多种料道方式,单元的柔性化程度高,适合多种规格电机轴的加工,管理维护成本桁架机械手普遍低于关节机器人,适用于大、中型电机的转轴加工。

自动化加工单元由智能机床、桁架机械手、上料仓、下料仓、抽检单元、总控单元组成。加工自动化单元如图4、图5所示。

2.2 加工流程

轴自动化加工流程如图6所示。

步骤1:下料。

电子看板接收派工单,准备开工,上料架人工取料、移动打码机并放料打码,从打码机取料,上料架上人工上料,采用锯床加工轴料,完成后下料

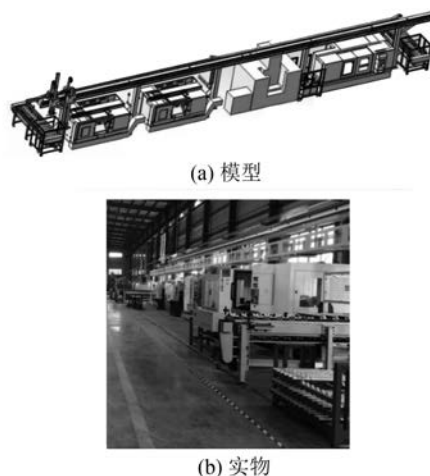


图4 方案2轴自动化加工单元布局模型和实物图

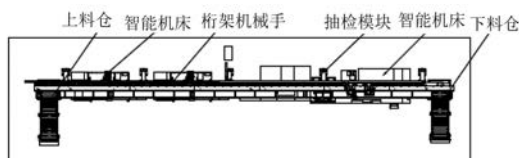


图5 方案2组成示意图

架上人工下料,上下料小轴采用平衡吊,大轴采用助力机械手完成,扫码枪录入完成报工,采用液压叉车转运到下一工序。

步骤2:铣平面、钻中心孔。

扫码枪录入,上料架上人工上料,采用铣打机加工轴料,完成铣端面 and 钻中心孔,加工完成后下料架上人工下料,上下料小轴采用平衡吊,大轴采用助力机械手完成。扫码完成报工,采用液压叉车转运到下一工序。

步骤3:粗、精车。

扫码枪录入,轴进入上料仓,机器人/桁架机械手完成数控车床下料、上料,数控车床卡盘以轴中心孔为基准,自动定心夹紧,粗车轴各个台阶;然后换刀,精车轴。完成后机器人/桁架机械手转到下一工序。

步骤4:铣削。

机器人/桁架机械手完成立式加工中心下料、上料,立式加工中心自动夹紧,加工轴的键槽,完成后机器人/桁架机械手转到下一工序。

步骤5:磨削。

机器人/桁架机械手完成数控磨床下料、上

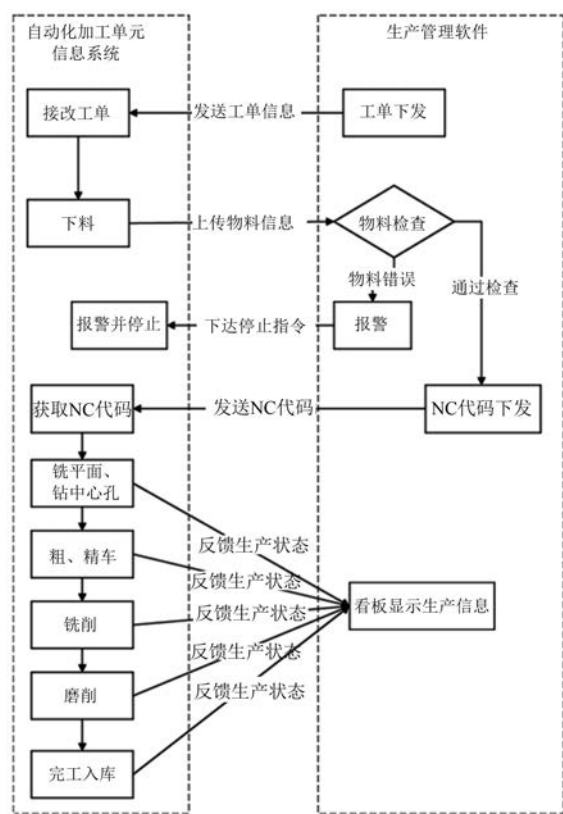


图6 工艺流程

料,数控磨床卡盘以转子中心孔为基准,自动定心夹紧,磨削轴伸档和轴承档。完成后机器人/桁架机械手转到下料仓。扫码完成报工,采用液压叉车转运到下一工序。

步骤6:检测。

在自动线上设置检测台,随机检测零部件的质量。

步骤7:入半成品库。

完工轴放置在自动料架上,人工装到AGV转子托盘上,AGV小车根据规定的引导线路,将轴运进半成品库。

自动化加工单元采用提供数据输入、输出接口的方式与现场生产管理软件进行实时互联互通。输入接口采用开放业务组件方式供外部软件访问,即外部软件通过调用业务组件来为设备提供各类数据信息的输入。外部输入的数据信息包括生产指令下达、NC代码下达、控制命令下达等,接收后由内部输入总控程序进行控制并下发到各个设备。输出接口采用内置程序,将设备的生产数据信息、报警信息、状态信息,通过内部输出总

控程序实时写入指定数据库。外部软件通过对指定数据库的访问,获取生产设备数据,实时监控产线设备运转情况,实现制造过程和设备运行状态的可视化。

2.3 内、外部系统对接

自动化加工单元采用提供数据输入、输出接口的方式与现场生产管理软件进行实时信息交互,如图7所示。输入接口采用开放业务组件方式供外部软件访问,即外部软件通过调用业务组件来为设备提供各类数据信息的输入。外部输入的数据信息包括生产指令下达、NC代码下达、控制命令下达等,接收后由内部输入总控程序进行控制并下发到各个设备。输出接口采用内置程序,将设备的生产数据信息、报警信息、状态信息,通过内部输出总控程序实时写入指定数据库。外部软件通过对指定数据库的访问,获取生产设备数据,实时监控产线设备运转情况,实现制造过程和设备运行状态的可视化。

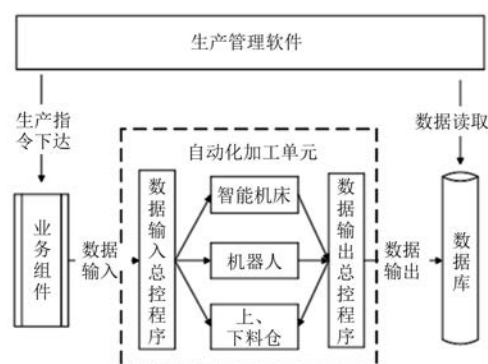


图7 外部软件与自动化单元对接图

2.4 方案特点

单元化布局:生产线按照流程布局成一个完整的作业单元,材料和零件能够以最小的搬运或延误完成流程,在单元内进行目标为“一个流”的作业。形成一端原材料进,一端产成品出的生产流程,通过这样的方案布局,形成柔性制造,其最大优点就是机动、灵活。具有减少生产过程中搬运和等待时间和成本、缩短产品交期、节约工厂的空间、减少工件缓存等优点。

与传统的设备直接与外部软件对接的方法相比。采用输入、输出接口与外部软件对接的方案,对比优点在于如果自动化单元内的设备发生变

动,如设备更换、增加新设备等情况,不会影响外部访问的软件功能正常运作。而且自动化单元也能够和不同的外部软件进行对接,这样就保证了方案有更强的适应性和扩展性。

2.5 加工单元主要模块

2.5.1 智能机床的运用

通过计算出所使用的切削刀具、主轴、轴承和导轨的剩余寿命,让使用者清楚其剩余使用时间和替换时间;通过在线测量系统提高了生产效率,保证了产品质量;良好的刚性和稳定性,多工序组合加工,在一台机床上完成一次装夹即可实现多工序集中加工,大幅度减少多次装夹带来的误差;加工中转序次数的减少,提高了生产效率,设备利用率为通用机床的几倍;工艺参数的自动收集、存储、调节、控制,优化了生产工艺;生产数据能够自动采集,实现机床与机床、机床与各级管理系统的实时通信,使生产透明化,融入企业的组织和管理中。

单元机床配置要结合产品的生产和工艺特点采用不同的方案,例如普通电机转轴加工采用 2 台智能车床,1 台数控立式加工中心,1 台数控磨床组成;汽车电机转轴加工由于轴需要调质,采用以车代磨工艺加工,一般采用 2 台智能车床,1 台数控立式加工中心组成。

机器人的使用:机器人、桁架机械手和专用抓手的使用具有节省成本、降低劳动强度、方便监管、效率稳定、安全性高等优势,降低人为因素对质量的影响。提高了零部件的定位精度、产品质量和生产效率,降低了工人的劳动强度,实现无人生产。

2.5.2 机器人

工业机器人最大水平工作半径约为 2 600 mm,最大夹持质量为 166 kg,特别适合中型零件的自动上下料应用。但需要注意的是由于关节机器人厂家不同,其旋转半径也会发生变化。

2.5.3 桁架机械手

桁架横梁和竖梁全采用钢梁结构,增强了梁的刚性,避免跨距大、承载重等引起的挠度变形,采用重载导轨,传动采用齿轮齿条方式。

2.5.4 机器人抓手模块

电机轴工件抓手模块形式为双件抓手形式,气爪均为两指,抓手结构带轴向浮动功能。在换

产时,需调节抓手检测信号的位置或更换手指块。每次可直接进行工件的上下料,不需要借助工件缓存台配置。由机器人带动气爪,可实现多方位状态的转换,满足卡具上下料与料库取放料的需要。要求气源压力为 0.5 MPa 以上。

2.5.5 抽检模块

抽检台的作用是作业人员可以对自动线加工后所产生的成品抽样检测。既能够实现高效率、低成本的全自动生产,又可利用抽检台进行成品检查,从而保证全自动生产的质量控制。

3 系统的信息交互

由于数字化车间的建设涉及到智能装备、自动化控制、传感器、工业软件等领域的供应商,集成难度较大,不仅存在诸多信息孤岛,也存在很多自动化孤岛。

为了解决上述问题,可以采用信息交互操作设计,在系统信息交互过程中,针对轴加工生产流水线系统,通过数据库直接访问或 OPC 的形式接入以太网,与 MES、PLM 系统交互数据。而具有 Modbus、USB、WiFi、Zigbee 及其他现场总线接口的设备,则通过数据采集器进行数据中转,整个数据采集系统主要采用 SCADA 软件,对相关设备及仪表进行数据的采集、整理,并将历史数据存储在数据库中,并通过 MES 系统进行展示和监控,实现现场总线到以太网的无缝集成。提高生产的协调、优化和控制能力,可大幅度提高生产效率降低人工成本,实现智能制造。轴加工信息交互架构如图 8 所示。

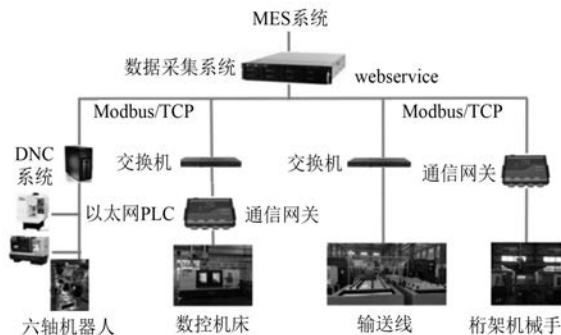


图 8 轴加工信息交互架构图

4 注意事项

(1) 数字化生产线需要产品达到一定的批量

(如满足单元一天的产能)。以加工 H160 电机轴为例,各工序加工时间如表 1 所示。

表 1 各工序加工时间

工序	加工时间
车削	14 min 20 s
磨削	7 min 30 s
铣削	2 min 40 s

根据表 1 各工序加工时间,要达到产能平衡,采用 2 台车床,1 台加工中心,1 台磨床,因此加工时间按磨削计算为 7 min 30 s,按 8 h 计算,一班加工约 64 根轴,考虑转产换模的时间按 1 h 计算,如果加工产品的数量少,大部分的时间会浪费在更换模具和调试机床上,这就导致了频繁更换模具,从而降低了生产效率。

(2) 不是所有的产品都要放到自动化产线中。例如,普通的数控磨床不能加工锥轴,通常工厂加工锥轴采用手动磨床调节床身来加工锥轴,而采用数控磨床加工锥轴,会导致机床造价提高,性价比不符合预期,因此圆柱形和圆锥形轴伸混线会造成产线效率下降或设备造价过高。

5 案例分析

智能制造轴加工的方案已在上海特波、江苏大中等多家企业投入使用,实际应用现场如图 9 所示。



图 9 智能制造轴加工应用现场

智能制造轴加工根据轴的质量采用不同的方案,轴加工单元工件在单元内流转,大大缩短原有工序之前的转运流程,并且减少了工件装夹次数,在保证产品质量的前提下提高了生产效率。某电机厂改造了 6 条自动化轴加工单元,2 种方案各 3 条生产线,具体效果如表 2 所示。

表 2 改造前后效果对比

项目	改造前	改造后
设备/台	28	20
操作人员/人	26	6
生产效率/根	76	104
不良率/%	2.5	0.25

(1) 改造后生产设备使用量降低,员工减少,生产效率提高,不良率有了大幅的下降。

(2) 传统加工方式需要掉头加工,影响产品质量,升级后在减少加工工序、提升了加工精度,同时减少了人为因素对产品质量的影响,提高了产品质量的一致性。

(3) 由于大规格电机轴较重,人工用悬臂吊给电机轴进行上下料,效率低还容易出现安全事故,用机器人上下料可提升生产效率和减少现场安全事故发生。

6 结 语

电机轴加工的智能制造产线方案采用智能机床配合机器人或桁架机械手的组合,符合品种多、批量小的离散型生产模式的柔性生产,结合柔性检测、物流,并通过现场过程加工数据的采集、存储、转换、加载等过程,将生产数据传输到数字化车间管理系统数据库中,可与公司级 ERP、MES、CRM 信息交互,为产品的定制化生产奠定了基础。

电机轴加工的智能制造产线方案既要考虑精益生产要求,又要考虑产线的性价比,利用专机时要考虑产品规格的兼容性,特殊产品则不上线,尽量在量大的产品上实现智能制造,防止不必要的浪费。通过产线的单元化布局,结合柔性检测、运输,信息化等手段,实现了产品的柔性化生产,满足了多品种、小批量的柔性化生产方式。通过优化工艺流程,提高了产品质量和自动化水平,解决了电机行业劳动力不足和劳动成本过高的问题。

【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.

(下转第 109 页)