

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.11.006

螺母自动上料及攻丝系统结构设计*

景 涛¹, 冯武卫^{1,2*}

(1. 浙江海洋大学 船舶与海洋工程学院, 浙江 舟山 316022; 2. 浙江省近海海洋工程技术重点实验室, 浙江 舟山 316022)

摘要:针对传统螺母攻丝加工工艺加工过程效率较低,而且存在潜在的作业危险等问题,对螺母攻丝加工工艺中涉及到的送料、定位、加紧、攻丝、下料等环节进行了研究。提出了一种螺母全自动自动上料及攻丝系统,其主要包括振动盘自动上料系统、自动攻丝及加工操作台系统。利用三维制图软件 Solidworks 对振动盘和加工操作台的结构进行了详细设计,并利用三菱 PLC 编程软件 Gx-Developer8.86 对电气控制部分进行了梯形图的绘制。最后利用三菱 PLC 仿真软件 GX-Simulator 6 验证了阶梯图的可行性。研究表明,该系统能够适应柔性自动化加工的生产要求,可靠性高,将成为提高劳动生产率和改善劳动条件的有效措施和主要方法,具有广泛的应用前景。

关键词:自动上料;组合机械手;系统设计;PLC

中图分类号:TH122;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)11-1322-07

Structural design of automatic nut feeding and tapping system

JING Tao¹, FENG Wu-wei^{1,2}

(1. School of Naval Architecture and Ocean Engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Key Laboratory of Offshore Engineering Technology of Zhejiang Province, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Aiming at the problems of the traditional tapping processing craft of nut, whose processing efficiency was low and there existed potential danger, multiple research was applied on the nut tapping processing including feeding, positioning, clamping, tapping, unloading, etc. A set of full-automatic feeding and tapping system was designed for processing of nut. This system can be mainly divided into these sub-systems: automatic feeding system (vibrating plate), automatic tapping and processing console system. 3D modeling software Solidworks was used in the structural design of the vibrating plate and the processing console. For the electrical control part, Mitsubishi PLC programming software Gx-Developer8.86 was used in the design of the ladder diagram, and Mitsubishi PLC simulation software GX-Simulator 6 was used to verify the feasibility of the ladder diagram. The results indicate that the system can adapt to the requirements of the production of flexible automation processing with high reliability, which will become effective measures and main methods to improve labor productivity and the working conditions, it having a wide application prospect.

Key words: automatic loading; plug-in manipulator; system design; PLC

0 引 言

锁紧螺母因其结构简单,且具有良好的防松效果、操作方便及适应性强等特点,在五金、机械和航空航天

行业中得到了越来越广泛的应用。传统的螺母攻丝工艺流程,通常是由操作工人将待加工的螺母手工地放到螺母攻丝机加工台上固定并进行加工。这种方式存在操作不方便、劳动强度大和生产效率低等缺点,且无法完成自动上料及实现自动化生产,因此不便于质量

收稿日期:2016-05-31

基金项目:中央财政支持地方高校发展专项(11044150215);浙江省科技厅重大专项社会发展项目(2013C03031)

作者简介:景涛(1994-),男,浙江绍兴人,本科主要从事机电一体化方面的研究。E-mail:tonnyjing@163.com

通信联系人:冯武卫,男,博士,副教授。E-mail:fengwuwei@163.com

和生产管理。

新技术的迅速发展和生产的客观要求存在,决定了生产线必须往多样化、自动化和智能化方向发展。然而,现在一些企业在进行生产加工螺母时还是采用传统的或自动化程度不高的钻床及攻丝机,进行人工手工操作,占用了大量的人力资源,并且无法实现工件从上料到下料全自动加工。故目前急需一种螺母自动上料及攻丝系统,配置上帮助实现自动生产的各种控制元器件,提高自动化程度。贵州大学的侯惠兰等人^[1]提出设计了一款自动上料机构来实现螺母的自动上料,并实现其自动加工,但是该机构设计复杂、成本较高;深圳职业技术学院自动化系的朱梅等人^[2]研制了一种以单根气动人工肌肉为激振装置的定向传送振动盘,该装置结构简单、控制方便以及平稳性好等优点,但其对气动控制的精度要求比较高;郑州大学机械工程学院的刘本学等人^[3]设计出一种高效自动攻丝机及其控制技术,该自动攻丝机高效、使用寿命长,但其生产成本相对较高。

本研究欲在传统锁紧螺母攻丝工艺的基础上,采用振动盘、加工操作台(主要包括组合机械手、检测装置及自动电气控制系统等)和螺母攻丝机,并对其进行整体结构及位置规划,以达到螺母自动上料以及自动地对其进行攻丝的目的。

1 系统整体结构及工作原理

按照螺母攻丝工艺要求,加工过程主要分为送料、定位、加紧、攻丝、下料等环节。为了实现整个加工过程自动化,本研究对每一部分进行了仔细严谨的设计。考虑到如何实现锁紧螺母的自动上料,笔者决定采用振动盘,并在其上料轨道上设计了一种特殊的剔除机构,用于实现锁紧螺母的定向排序;考虑到锁紧螺母如何被加工操作台运送到特定的加工位置,本研究设计了一款气、电动组合机械手,该机械手采用步进电机驱动载物转盘,从而将锁紧螺母送到待加工位置,并利用气缸加夹具和压板对其进行夹紧和剔除废料;此外还应充分考虑如何规划螺母攻丝机及整体的安装位置等问题。本研究采用 Solidworks 三维制图软件进行设计,该软件的操作界面清晰直观,具有灵活的草图绘制和检查功能,强大的特征建立能力和零件与装配的控制功能,同时其自带的 Simulation 和 Motion 插件还可以让使用者边设计边分析。

该系统整体结构如图 1 所示。

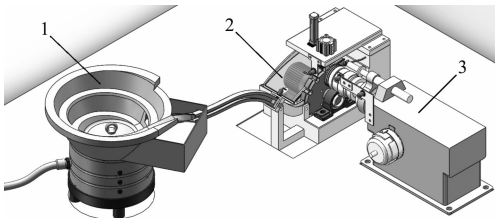


图 1 系统整体结构图

1—振动盘;2—加工操作台;3—螺母攻丝机

从图 1 中由左向右看,依次为:①振动盘,其动作原理是电磁感应原理,通过电磁振动及复位弹簧作用达到锁紧螺母自动定向排列的目的;②加工操作台,主要为组合机械手(包括执行锁紧螺母的输送、固定夹紧和攻丝各机构),实现锁紧螺母的自动上料、固定夹紧、下料等功能。③螺母攻丝机,负责对锁紧螺母进行攻丝。

系统整体工作原理流程图如图 2 所示。

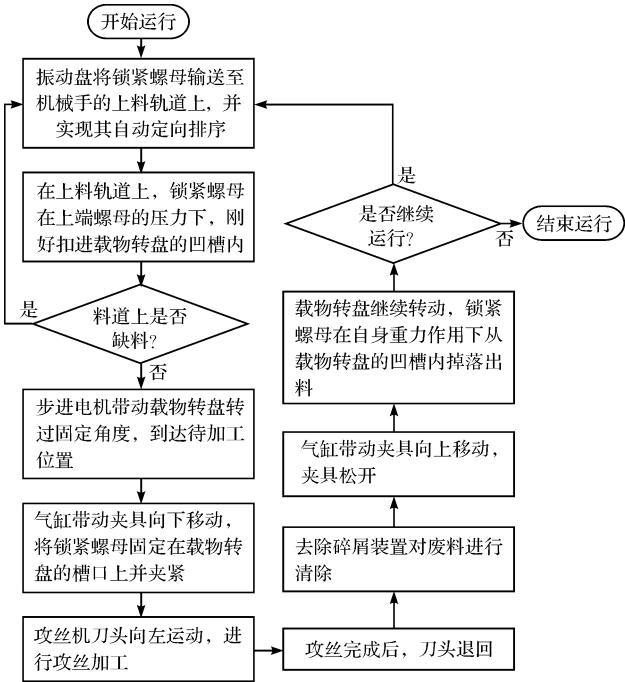


图 2 系统整体工作原理流程图

在工作过程中,振动盘的顶盘在电磁力和弹力的反复作用下进行上下振动,锁紧螺母会在振动的作用下沿着振动盘内的螺旋料道向上、向前输送,同时在该输送运动过程中锁紧螺母会自动实现定向排列,直至到达上料机械手的料道上。从振动盘出来的锁紧螺母通过上料轨道的作用运动到和载物转盘的槽口相对,并在上端螺母的压力作用下,刚好扣进载物转盘的凹槽内。电机带动载物转盘旋转经过恒定角度,到达待加工位置;气缸带动夹具向下移动,将锁紧螺母固定在载物转盘的槽口上并夹紧。攻丝机刀头向左运动,开

始实行加工操作。攻丝完成后,刀头退回。去除碎屑装置对废料进行清除。气缸带动夹具向上移动,夹具松开。载物转盘继续转动,锁紧螺母在自身重力作用下从载物转盘的凹槽内掉落出料,就这样循环反复进行加工。

2 主要工作机构设计

2.1 振动盘

当前的螺母输送机存在以下几个缺点:不能实现螺母的自动计数;无法保证在软管和输送前端之间只有一个螺母^[4]。本研究考虑到如何实现锁紧螺母的自动上料及自动定向排列等问题,选择采用振动盘,并对其进行相应的加工处理,以期达到理想的输料目的。目前,生产车间内在大多数情况下会选择圆盘式的料斗,它的质量要比较轻,常用铸锅制成一个整体,再在料斗内部的周边车出一条螺旋料道,以供输送工件之用。针对体型比较大的料斗而言,则通常会用铸钢板进行拼装和焊接而成。

其中,料斗的主要结构参数分为以下几点:

(1) 螺旋料道升角 α 。工件在料道上运动的平均速度会随着 α 的减小而增加,其料道的圈数也会随之增多。若 α 的大小增加到自己的上限时,工件将不能继续向上运动。一般取 $\alpha = 10^\circ \sim 60^\circ$ 。

(2) 螺旋料道升距 t 。在实际加工时, t 的值不应该取得太大,若 t 太大, α 也将会过大,这显然不是本研究希望得到的结果。若 α 取值恒定不变, t 越大,料斗直径就会越大。通常, t 的取值以无法使两个工件同时并排通过为标准,取:

$$t = 1.6h + s \quad (1)$$

式中: h —工件在料道上的高度,mm; s —料道板的厚度,mm。

(3) 螺旋料道中径 D_m 和外径 D 。

α 和 t 可以确定 D_m 的大小,如下式所示:

$$D_m = \frac{t}{x \tan \alpha} \quad (2)$$

而确定 D_m 的大小之后,可以进一步根据下面的式子求得 D 的大小:

$$D = D_m + b + 2e \quad (3)$$

式中: b —滑道宽度,mm; e —料斗壁厚,mm。

针对体型较为细长的工件,则根据下面的式子进一步修改料斗的直径:

$$D \geq (7 \sim 10)l \quad (4)$$

式中: l —工件的长度,mm。

(4) 料盘盘底的中凸角 θ 。振动盘的底部应尽可能做成具有一定坡度的锥形,这样工件就可以轻易地进入螺旋槽上。一般取: $\theta = 170^\circ \sim 176^\circ$ 。

此外,输料槽侧壁间隙 S 可根据下式进行推算:

$$S \leq \left[\frac{\sqrt{1 + (L/D)^2}}{\sqrt{1 + \mu^2}} - \frac{L}{D} \right] D \quad (5)$$

式中: D —工件直径,mm; L —工件长度,mm; μ —工件与侧壁的滑动摩擦因数, $\mu = 0.1 \sim 0.5$ 。

该振动盘结构示意图如图 3 所示。

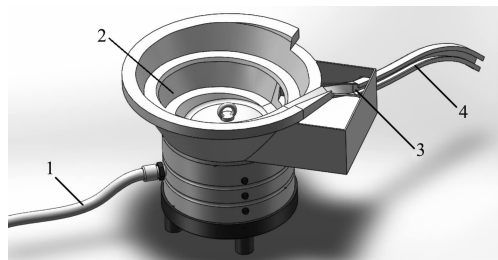


图 3 振动盘结构示意图

1—电源控制线;2—料斗;3—剔除机构;4—上料轨道

为了实现工件自动定向和整齐排列,本研究在螺旋料道靠近出料口的位置设计一个剔除机构,该机构通过开出槽口,做出斜面和安装特定剔除构件的方法,将上料过程中不满足实际生产定向排列要求的工件进行剔除,使其受到剔除机构的阻挡而被迫掉落回到振动盘料斗的底部;而方向排列正确的工件则能顺利通过。

一旦锁紧螺母的上料方位不符合生产要求时,就会被剔除机构所剔除,振动盘剔除机构示意图如图 4 所示。

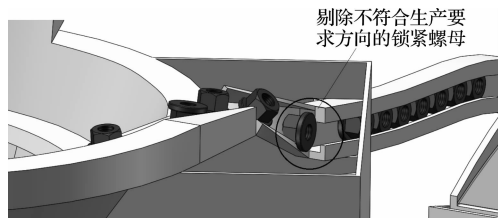


图 4 振动盘剔除机构示意图

与此同时,该振动盘的上料轨道还具有储料的功能,即可以在上料轨道的一定位置上预先储存适量的锁紧螺母,使得整个上料过程能够运行顺畅,不至于在某一时间段内出现无法及时提供锁紧螺母的情况出现,振动盘储料示意图如图 5 所示。

2.2 螺母攻丝机

采用传统的攻丝方法,往往会因为切削温度过高

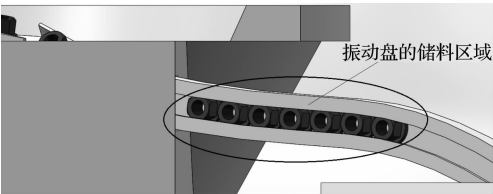


图 5 振动盘储料示意图

而导致积屑瘤的产生。积屑瘤的存在会使得刀刃做不规则运动,从而导致加工出来的螺纹出现齿形不规则且精度低等缺陷,无法满足现代高精度螺纹加工技术的要求。此外,考虑到如何控制螺母攻丝机攻丝刀头的进给运动等问题,本研究决定采用螺母攻丝机,螺母攻丝机示意图如图 6 所示。

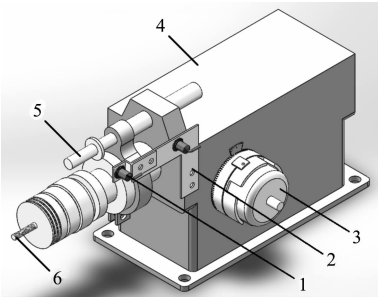


图 6 螺母攻丝机示意图

1—光电开关;2—支承板;3—电机;4—机架;
5—探测杆;6—攻丝刀头

该螺母攻丝机主要包括:① 伺服电机:将电压信号转化为转矩和转速,以此来驱动攻丝刀头;② 控制器:电源控制、进、退丝转速控制调节及扭矩过载保护;③ 攻丝刀头(即丝锥):对锁紧螺母进行攻丝加工;④ 光电开关:一种利用光线来进行数据处理的传感器,灵敏度高,用于检测探测杆是否到位,并将信息传送给控制器从而控制攻丝刀头的进给运动方向;⑤ 机架:固定在地板上。

为了更好地控制螺母攻丝机刀头的进给运动,并结合 Chen, Y. B.^[5] 等提出的信息测量方法,本研究在探测杆旁边的相应位置,安装两个光电开关,螺母攻丝机进给运动控制原理图如图 7 所示。

这两个光电开关用以感测刀头是否准确到达指定位置,然后将信号反馈到计算机控制系统,最后控制系统根据设定好的程序,将下一步该执行的动作信号传输给电机,电机再控制攻丝刀头执行下一步动作。如此,确保了螺母攻丝机丝锥刀头精确的动作路径。

2.3 加工操作台

该加工操作台实质上是一种组合机械手,主要

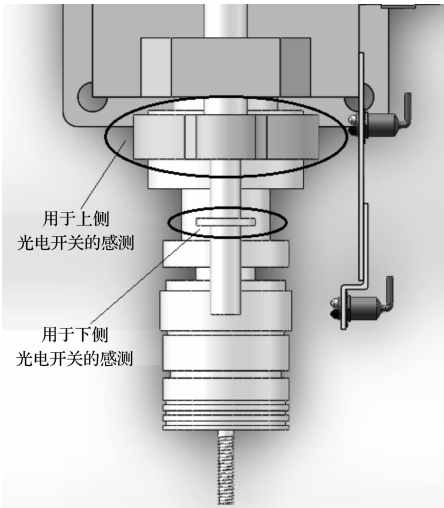


图 7 螺母攻丝机进给运动控制原理图

包括有输送装置、载物转盘、装夹装置、去除碎屑装置以及周边设备装置(如油箱、泵、喷嘴以及冷却液回流槽等)这几个主要机构。机械手的驱动方式有液压式、气动式、和电动式。考虑到其要求所占体积小、精度较高、动作要求相对简单、设计时间短及加工成本低,并根据机械手工作要求和负载情况,笔者选用气动和电动相结合的驱动方式^[6]。同时,机械手的工作空间可以被描述为在可移动平台上其到达点、线、平面或三维实体的能力^[7],故笔者确定其工作空间也十分重要。经过仔细设计及布局规划,最后加工操作台如图 8 所示。

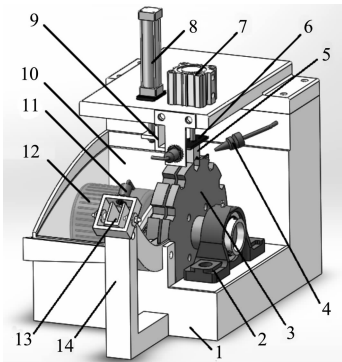


图 8 加工操作台(即气、电动组合式机械手)

1—机架;2—底座轴承;3—载物转盘;4—喷嘴;5—夹具;6—挡板;7—CQ2B16-D 型气缸;8—QGX-MS1 脚架式气缸;9—压板;10—挡板;11—光电开关;12—步进电机;13—上料轨道;14—支架

图 8 所示的主要部件包括:输送装置、载物转盘、步进电机、装夹装置(包括夹具及气缸)、去除碎屑装置(包括压板及气缸)、光电开关以及周边设备装置。

上料轨道上的光电开关,用于检测上料轨道上

的锁紧螺母余料是否充足,若不充足,光电开关将会将信息反馈给控制器,进而控制振动盘上料;利用安装于机械手装夹装置挡板前的光电开关,来检测夹具是否到达指定的目标位置;载物转盘是通过步进电机以及带座轴承进行固定的,并通过步进电机带动其转动,且其转动范围为;夹具是通过气缸带动其上下移动,从而完成锁紧螺母的夹持动作的;压板是通过气缸及其活塞杆的作用来去除残余碎屑的。若进一步结合 A. Gil Del Val^[8] 等提出的攻丝螺纹质量的在线诊断策略,将显著提高该系统的加工可靠性。

下面简单介绍下步进电机和气缸的有关内容:

2.3.1 步进电机

(1) 步进电机的控制一般为开环控制,容易出现失步而引起位置误差^[9-10],故需提前做好防失步运行的准备工作。同时,在本系统中需要步进电机每次转过固定的角度(即步距角),步距角是指每给一个电脉冲信号电机转子所应转过的角度,其由转子齿数和电机的相数所决定:

$$\theta_b = \frac{360^\circ}{m_1 z_r} \quad (6)$$

式中: z_r —转子齿数; m_1 —运行拍数,通常等于相数或相数的整数倍,即 $m_1 = km$; m —电机相数。

还可以根据载物转盘的转速 n 及其旋转的半径 R ,算出转盘的转矩 M ,计算公式如下:

$$M = \text{负载(总重量)} \times R \quad (7)$$

最后,根据公式计算理论功率 N (单位:kW):

$$N = Mn/9\,549 \quad (8)$$

2.3.2 气缸

气压驱动的灵活性高、噪声较小、无油污,不需要外加齿轮等机械部件、结构相对简单;并且能够提供足够大的输出力,其理论输出力的计算公式如下所示:

$$F_1 = P \times \pi/4 \times D^2 \quad (9)$$

$$F_2 = P \times \pi/4 \times (D^2 - d^2) \quad (10)$$

式中: F_1 —无活塞杆端的最大理论输出力,N; F_2 —有活塞杆端的最大理论输出力,N; P —公称压力,Mps; D —气缸内径,mm; d —活塞杆直径,mm。

根据设计要求:机械手载物转盘上的凹槽应与上料轨道的槽口水平对齐,使得锁紧螺母能够顺利进入到载物转盘上,且每次动作都应紧接着前一个位置开始启动,完成载物转盘的转动、固定夹紧锁紧螺母、去除残余碎屑、放开锁紧螺母,载物转盘继续朝原方向转动和位置控制,实现自动操作方式。

装夹装置的工作示意图如图 9 所示。

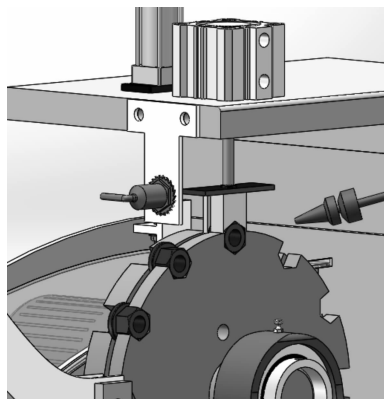


图 9 装夹装置的工作示意图

为了保证机械加工的稳定性及精确性,常常需要根据生产要求,将工件准确地安置于机械手夹具的特定位置上。此外,考虑到工件还会受到诸如重力及切削力等的综合影响,需进一步对它进行固定和夹紧,直至使其满足生产要求。在实际加工时,装夹装置需要对载物转盘上的锁紧螺母施加一定的压力,使锁紧螺母能在其所在位置被固定夹紧,等待攻丝机对其进行加工。

攻丝机对锁紧螺母进行攻丝之后,会在载物转盘的左边残留一些碎屑。为了防止这些碎屑对后面的攻丝加工造成影响,需对这些碎屑进行去除处理。为了实现这个目的,本研究设计了可以垂直上下运动的去除碎屑装置,实现锁紧螺母攻丝加工后,自动去除碎屑的功能。其外形如图 10 所示。

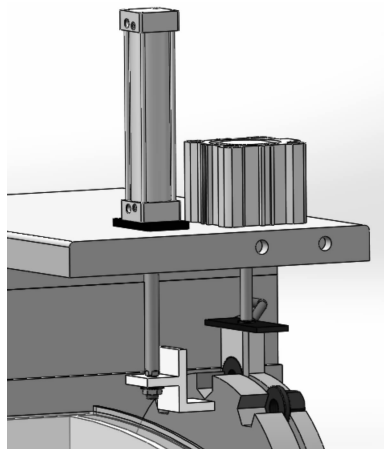


图 10 去除碎屑装置的工作示意图

由于攻丝机在对锁紧螺母攻丝过程中会产生巨大的冲击力,并伴随着大量热量产生,从而在锁紧螺母的加工表面上的温度会急剧升高,故需要使用冷却液对其进行降温。根据载物转盘的安装位置,笔者所设计

的油箱、泵、喷嘴的安装位置如图 11 所示。

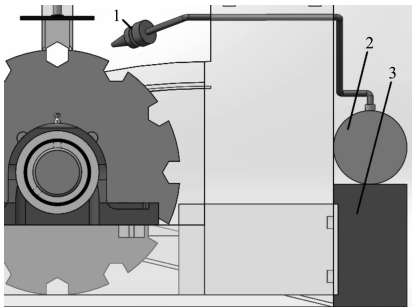


图 11 油箱、泵、冷却液输送管道及喷嘴的结构形状及其安装位置
1—喷嘴;2—泵;3—油箱

此外,在冷却液对锁紧螺母进行冷却后,需想办法将其合理回收,并循环使用。根据喷嘴所在位置,笔者所设计的冷却液回流槽安装位置如图 12 所示。

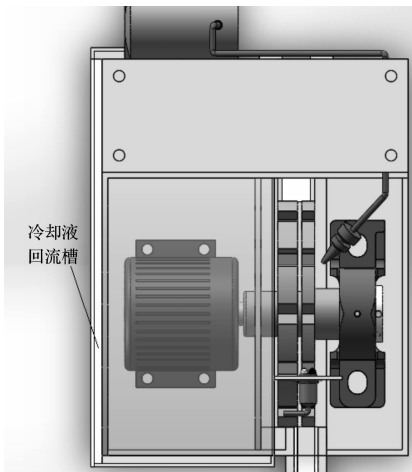


图 12 冷却液回流槽的结构形状及其安装位置

3 自动上料和攻丝系统电气控制部分设计

当前,在自动化控制领域技术越来越成熟,设备的控制功能与效益息息相关,且大多采用电气控制方法。该系统一共包括 2 个电机(即一个伺服电机和一个步进电机)、4 个传感器(均采用光电开关)。为实现这些控制部件之间的紧密联系,需要利用 PLC 控制系统来完成协调任务。各部分控制系统采用具有现场总线形式的 PLC 控制方式,具有单独控制及连线自动控制的功能^[11]。该电气控制部分利用三菱 PLC 编程软件 Gx-Developer8.86 进行梯形图的绘制,并选择 FX_{2N} 系列;最后,利用三菱 PLC 仿真软件 GX-Simulator 6 验证阶梯图的可行性。用可编程控制器设计的自动上料和攻丝电气控制系统,线路简单,系统的可靠性高,功能强,可以实现螺母上料和攻丝的自动化^[12-13]。

3.1 I/O 地址分配

为了使控制系统正常运行,系统需要 7 个输出点,7 个输入点。自动上料和攻丝系统的 PLC 控制系统输入/输出分配表如表 1 所示。

输入			输出		
功能	元件	地址	功能	元件	地址
光电开关用于感测给料	SB1	X000	振动盘上料	KM1	Y000
光电开关用于感测压件	SB2	X001	气缸用于压件	KM2	Y001
光电开关用于感测进刀	SB3	X002	气缸用于松件	KM3	Y002
光电开关用于感测退刀	SB4	X003	电机用于进刀	KM4	Y003
启动	SB5	X004	电机用于退刀	KM5	Y004
停止	SB6	X005	气缸用于剔料	KM6	Y005
步进电机反馈	SB7	X006	步进电机旋转	KM7	Y006

3.2 I/O 接线图

自动上料和攻丝系统的 PLC 控制系统 I/O 接线图如图 13 所示。

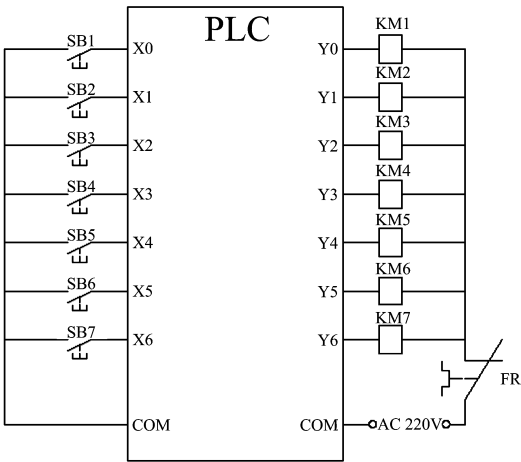


图 13 PLC 控制系统 I/O 接线图

3.3 PLC 控制系统梯形图程序

本研究根据该控制系统的工作要求和 I/O 地址编制,设计的梯形图如图 14 所示。

3.4 PLC 控制系统响应时序图

根据该控制系统的梯形图指令,本研究通过三菱 PLC 仿真软件 GX-Simulator 6 得到相应的响应时序图如图 15 所示。

由图 15 的响应时序图可见,Y005 的响应时间为 2 s,与本研究设计的阶梯图指令要求刚好吻合,故验证了阶梯图及系统的可行性。

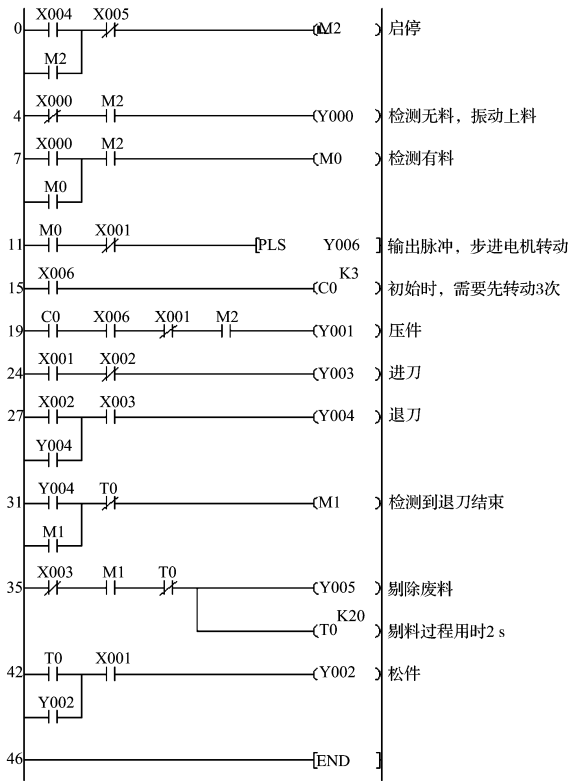


图 14 PLC 控制程序梯形图

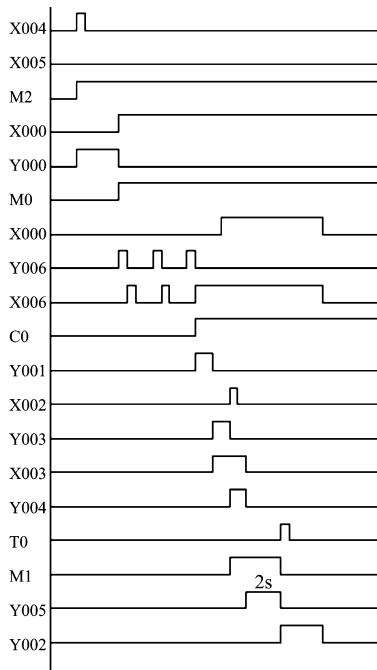


图 15 PLC 控制程序响应时序图

4 结束语

该螺母自动上料及攻丝系统操作简便,可大幅度

降低工人的劳动强度,并缩短生产周期、降低生产成本及提高生产质量,能够进一步代替传统的螺母攻丝工艺流程,真正完成自动上料及实现自动化生产,便于产品质量和生产管理。

本研究针对传统的螺母攻丝行业提出一种新的工艺流程,即通过振动盘、加工操作台及螺母攻丝机的联合运行,达到自动上料及攻丝的目的。为实现这种联合运行,笔者将一定数量的光电开关安装在各个设备的相应位置,以期实现实时通讯、反应迅速。最后,笔者利用 Solidworks 三维制图软件自带的 Motion 插件及三菱 PLC 编程软件 Gx-Developer8.86 进行系统分析,证明其可行性。实验下一步,将从各个设备及零件的型号和材质入手,进一步确定相关参数及结果,提高系统的可行性。

参考文献 (References):

[1] 侯惠兰,陈家兑,李建彪,等. 数控螺母收口机自动上料机构的设计[J]. 现代机械,2013,40(5):13-15.

[2] 朱梅,管巧娟. 气动人工肌肉驱动的定向传送振动盘设计[J]. 液压与气动,2008(2):9-10.

[3] 刘本学,申俊,董刚. 高效自动攻丝机的设计及控制研究[J]. 制造业自动化,2014,36(11):87-90.

[4] 谭志飞,毛美姣,荣毅. 旋转式螺母输送机的 PLC 控制[J]. 机械工程师,2005(6):39-41.

[5] CHEN Y B, SHA, J L, WU S M. Diagnosis of tapping process by information measure and probability voting approach [J]. **Journal of Engineering for Industry**, 1990, 112(4):319-325.

[6] 王建军. 搬运机械手仿真设计和制作[J]. 机械设计与制造,2012(9):146-148.

[7] CERVANTES-SÁNCHEZ, J. J. RICO-MARTÍNEZ, J M. PÉREZ-MUÑOZ. V H. An integrated study of the workspace and singularity for a Sch? nflies parallel manipulator [J]. **Journal of Applied Research and Technology**, 2016,14(1):9-37.

[8] J. FERNÁNDEZ, A. G D V, ARIZMENDI. M. On Line Diagnosis Strategy of Thread Quality in Tapping[J]. **Procedia Engineering**, 2013,63:208-217.

[9] 李移伦. 一种基于 PLC 控制的步进电机防失步运行策略[J]. 自动化技术与应用,2008,27(9):113-115.

[10] 杨红亮,徐国宝,马金凤,等. 基于 PLC 控制的软袋落桶机的研发[J]. 包装与食品机械,2015(6):47-50.

[11] 陈立新. 工业机器人在冲压自动化生产线的应用[J]. 机械设计与制造,2010(10):94-96.

[12] 刘磊,盛小明,秦佳. 冲床送料机械手的 PLC 系统设计[J]. 机械,2013,40(31):81-93.

[13] 王建军. 搬运机械手及 PLC 控制系统设计[J]. 液压气动与密封,2010,30(10):16-18.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

景涛,冯武卫. 螺母自动上料及攻丝系统结构设计[J]. 机电工程,2016,33(11):1322-1328.

JING Tao, FENG Wu-wei. Structural design of automatic nut feeding and tapping system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(11): 1322-1328.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>