

DOI:10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2024.05.020

一种高效环保自动钢管内壁抛光机的设计

黄栋斐¹, 谢劼², 黄文龙², 吴光明¹, 薛明¹, 张林², 张春华²

(1. 东莞技师学院, 广东 东莞 523466; 2. 东莞腾信精密仪器有限公司, 广东 东莞 523393)

摘要: 钢管在进行切断等机械加工后除了切口会产生一些毛刺, 在内壁也会粘连切屑残留物, 目前大部分工厂以人工进行简单地打磨抛光处理为主。设计一种针对管型金属零件具备自动上料并对切口及内壁进行去毛刺和抛光作业的设备, 与人工打磨一个工件需要 4~5 s 相比, 自动抛光机仅需 1.5 s, 大幅度提高了工作效率, 钢管内壁经设备处理后表面粗糙度 Ra 达到了 0.1~0.2 μm , 提升了产品品质。该设备可以根据抛光的工艺要求进行个性化的参数设定, 实现对抛光过程的可控性, 优化了工作流程, 减少了人员编制并解决了抛光过程中产生的金属粉尘对人体健康的影响, 对工厂如何以低成本实现向“智能制造”迈进有一定的示范意义。

关键词: 钢管; 打磨抛光; 个性化; 智能制造

中图分类号: TG580.23 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2024)05-0097-05

Design of Efficient and Environmental Protection Automatic Polishing Machine for Inner Steel Pipe

HUANG Dongfei¹, XIE Jie², HUANG Wenlong², WU Guangming¹, XUE Ming¹, ZHANG Lin², ZHANG Chunhua²

(1. Dongguan Technician College, Dongguan 523466, China; 2. Dongguan Turnxon Precision Co., Ltd., Dongguan 523393, China)

Abstract: With respect to the burrs at the incision of steel pipe and the chip residues adhering to on the inner wall as the result of simple grinding and polishing conducted manually in mechanical cutting processing, designs an equipment for automatic feeding of tubular metal parts and deburring and polishing of the incision and inner wall. Compared with the manual grinding of a workpiece which needs 4~5 s, the automatic polishing machine only needs 1.5 s, which greatly improves the work efficiency. The roughness Ra of the inner wall of the steel tube after the equipment treatment reaches 0.1~0.2 μm , upgrading the product quality. The equipment can set personalized parameters according to the polishing process requirements, so as to realize the controllability of polishing process, optimize the work flow, reduce the staffing and solve the impact of metal dust produced in the polishing process on human health, which is of a significant demonstration for factory to achieve "intelligent manufacturing" at low cost.

Keywords: steel pipe; grinding and polishing; personalization; intelligent manufacturing

0 引言

随着我国经济和社会的不断发展, 一方面人力成本越来越高, 另一方面企业面临产业转型, 要实现更高效的生产以及对产品品质也有了更高的要求, 而采用传统的人工抛光管型金属零件切口和内壁的方式, 越来越不适应企业的发展要求。目前工业机器人在金属抛光中应用非常广泛, 但是对于一些中小型企业来说, 工业机器人系统的应用面临一次性投入成本高, 后期设备维护对技术人员的要求高等问题^[1]。基于以上原因, 本文介绍了一种结构精巧、功能完善、应用灵活、操作简单、运行稳定、性价比高的自动钢管内壁抛光机的研发与应用。

1 总体方案

1.1 系统介绍

图 1 所示为自动钢管内壁抛光机, 包括: 皮带输送机构 1、分料及固定机构 2、HMI 与 PLC 控制箱 3、步进电机系统 4、物料收集器 5 等^[2]。抛光机的前端设计为输送带, 一方面可以直接和钢管加工前端生产线直接对接形成一条完整的自动化生产线, 另一方面作为一台独立的加工设备, 可以很方便地实现人工加料时钢管输送的存储和缓存。同样在抛光机的输出端, 抛光机在完成钢管的加工之后, 钢管可以直接对接下游生产线, 独立运作时只需要对接周转箱即可, 非常灵活。

第一作者简介: 黄栋斐 (1981—), 男, 江西定南人, 高级讲师, 硕士, 研究方向为电气自动控制技术, 11919483@qq.com。

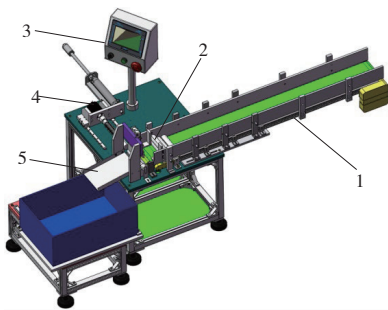


图1 自动钢管内壁抛光机

抛光流程如图2所示。自动钢管内壁抛光机通过输送带将钢管输送至分料机构,传感器检测到钢管到位信号后,分料机构将当前的钢管与尾随的钢管分隔开,利用气缸将钢管夹固定后,步进电机驱动的毛刷启动,气缸将毛刷送入钢管内,根据触摸屏上设定的抛光参数进行抛光,完成后将钢管送入下一个工序或者周转盘中。

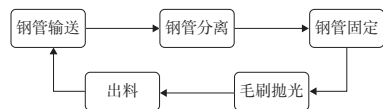


图2 抛光流程

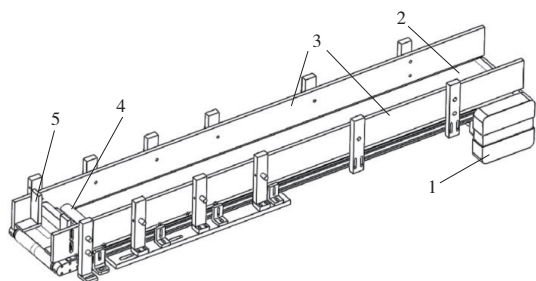
1.2 主要技术参数

1)设备总功率约为6.5kW;2)供电电源为AC 380V;3)步进电机最高转速为800 r/min;4)气源压力为0.4~0.8 MPa;5)抛光后产品表面粗糙度应满足 $Ra < 0.3 \mu\text{m}$;6)抛光工件最大尺寸(孔径×长度)为 $\phi 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$;7)效率目标为40~60 个/min;8)自动化程度为送料及抛光过程由机器自动完成;9)环保目标为配备专用的封闭空间或粉尘专用收集设备,不会对现场环境及人体健康造成影响^[3]。

2 硬件设计

2.1 皮带输送机构

输送机构如图3所示。皮带输送机构负责将上一个工序中加工完成的钢管输送到分料和固定机构。为了实现柔性生产,输送机构的宽度可以在一定范围内进行调节,以适应不同长度钢管的输送。为了防止钢管堆积而出现的物料阻塞,在输送带的末端设置了钢管的阻拦机构,该阻拦机构为一个L型的挡片,挡片可以根据不同钢管的直径进行柔性调整,实现了每次只有1个钢管进入分料和固定机构。

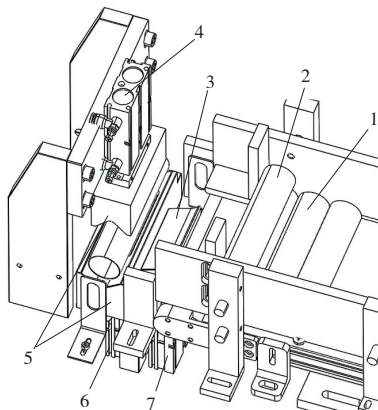


1—电机;2—皮带;3—护栏;4—钢管;5—阻拦机构。

图3 输送机构

2.2 分料及夹紧装置

分料及夹紧装置如图4所示。钢管进入U型分隔槽后,分料气缸推动一个三角形的金属块,金属块的斜面能引导当前钢管进入V型夹紧槽内,直角面阻挡分隔开后面的钢管。在打磨过程中,由于钢管内壁与毛刷的阻力,钢管存在旋转甚至偏移的情况,因此为了保证夹持的力度,在设计时夹紧气缸采用的是双缸双作用气缸,并且在V型槽内有绒毛层,可防止在夹持过程中对钢管的外壁造成损伤。在下V型夹紧槽中间开有一个方形孔,一个三角形的金属块穿过方形孔可以将打磨完毕的钢管送出下V型夹紧槽。



1—钢管;2—阻拦机构;3—分料机构;4—上夹紧气缸;5—V型夹紧槽;6—送出气缸;7—分料气缸。

图4 分料及夹紧装置

2.3 步进电机毛刷机构

步进电机毛刷机构如图5所示。步进电机启动后通过毛刷伸缩气缸的伸缩实现毛刷对钢管内壁往复抛光,其中步进电机的转速、抛光的时间以及毛刷的往复次数等可以通过触摸屏进行设定。这样就保证了每个钢管加工过程的一致性,同时设定参数的开放可以满足不同产品抛光工艺的个性化要求,这在人工抛光的情况下是无法实

现的^[4]。

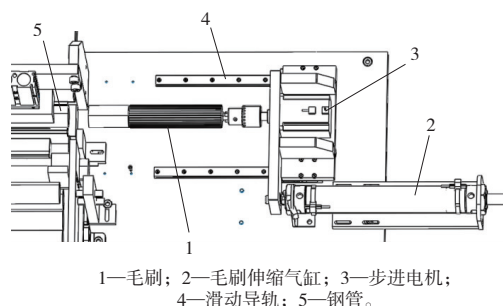


图5 步进电机毛刷机构

3 气动系统设计

气动系统主要由气源、气源处理、电磁阀、单向节流阀、气缸、传感器等组成,气缸采取排气节流的方式实现对气缸速度的控制,保证气缸在运动过程中动作的平稳。图6为气动系统原理图。为了保证钢管的夹持力度,确保在抛光过程中的安全 and 产品生产的质量,上夹紧气缸采用双缸双作用气缸,分料和送出气缸因为考虑成本,故在满足功能需求的情况下选用的是单作用气缸。下面以毛刷伸缩气缸为例介绍气动元件的选型。

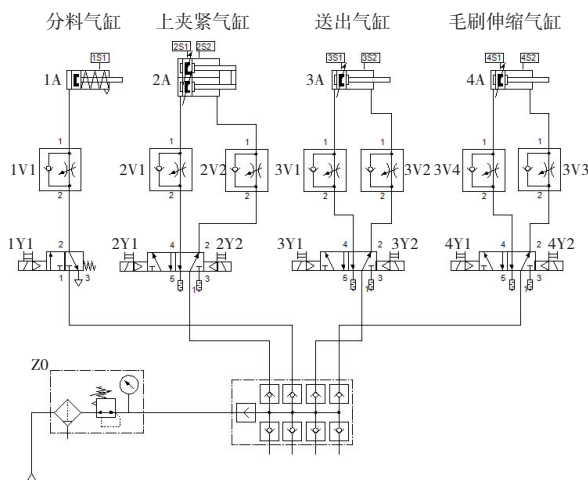


图6 气动系统

3.1 气缸行程选择

毛刷伸缩气缸的作用是推动步进电机装置及毛刷进出钢管,设备设计要求能打磨的钢管最大长度为160 mm,实际有效工作行程应大于这个值才能确保钢管两端的切口可以打磨到位。通过查询SMC公司提供的双作用气缸圆整数值,选择行程为200 mm的气缸。

3.2 气缸缸径选择

1) 步进电机装置质量 $m = 3.5 \text{ kg}$, 气缸推动步进电机在滑动导轨上运动摩擦因素 $u = 0.25$, 气缸的轴向负载力 $F = umg = 0.25 \times 3.5 \times 9.8 = 8.575 \text{ (N)}$ 。考虑到打磨过程中,毛刷进出钢管需要克服一定的阻力,负载力的最终取值应为 $F = 8.575 + 50 = 58.575 \text{ (N)}$ 。

2) 气缸运行速度并不高,伸出时间约为2 s, 拉线气缸的速度 $v = \frac{200}{2} = 100 \text{ (mm/s)}$ ^[5]。

3) 气缸负载率 β 的选取与气缸的负载性能及气缸的运动速度有关,根据气缸运行速度选定 $\beta = 0.5$ 。因此气缸的理论输出力 $F_0 = \frac{F}{\beta} = \frac{58.575}{0.5} = 117.15 \text{ (N)}$ 。

4) 在工作压力 $p = 0.5 \text{ MPa}$ 时,根据公式 $F_0 = \frac{\pi}{4} D^2 p$, 可以计算出缸径 $D = \sqrt{\frac{4 F_0}{\pi p}} = \sqrt{\frac{4 \times 117.15}{3.14 \times 0.5}} \approx 17.27 \text{ (mm)}$, 通过查表选择气缸缸径为25 mm。

3.3 电磁阀选型

主气缸只有两个执行工位,选用SMC的两位五通手动先导式电磁阀(24 V)作为控制元件,阀体的大小由流量 Q 决定: $Q = v \frac{\pi}{4} D^2 = 100 \times \frac{3.14}{4} 25^2 \approx 49\,062 \text{ (mm}^3/\text{s)} \approx 29 \text{ (L/min)}$ 。SMC公司的SJ2000系列阀岛流量为80 L/min,满足设计要求。

时间就是效率,生产线对抛光效率有一定的要求,这样对设备的结构进行设计时需要考虑气缸在快速运动过程中的可靠性。因此设计采用了滑动导轨。

4 控制系统设计

4.1 电气设计

1) 控制器选型

为了控制成本以及实现设备小型化,控制器采用西门子最新推出的S7-1511C-1紧凑型PLC,它可靠性高、功耗小、抗干扰能力强、程序开发周期短、容易操作和方便日后维护人员对设备进行维修维护,配置有4个通道用于PTO(脉宽调制),频率输出高达100 kHz,用以驱动步进电机,同时博途工艺对象中的运动控制向导可以很方便地对脉冲输出轴进行参数配置。

自动抛光机不可能孤立地成为一个自动化生产设备,它必须是企业全自动生产线中的一个环节。因此要实现自动化抛光机与整个生产线中的其他设备融合和联动,进行信息交互,S7-1511C-1 配备有 Profinet 等通信接口,方便了设备日后的扩展和升级^[6]。

2) PLC 的 I/O 接线图

图 7 所示为自动抛光机的 I/O 接口,包括有物料检测、各种气缸限位、气缸的输出、设备报警灯等,并且预留了一定数量的 I/O 接口,方便后期设备升级或者设备之间实现简单的信号交互。

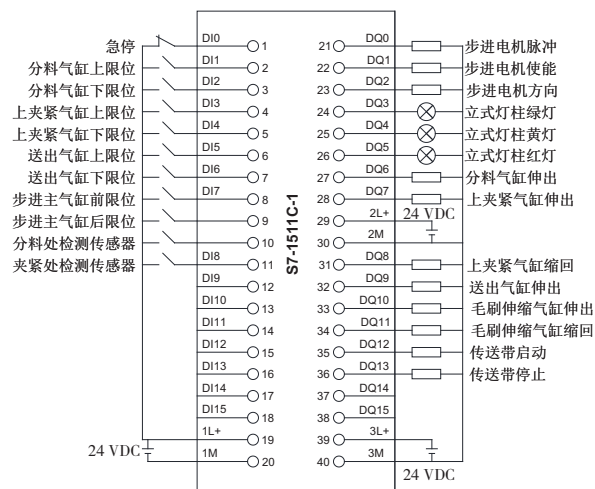


图 7 I/O 接线图

3) 步进系统的设计

抛光机进行的是精抛作业,因此对电机的驱动力要求并不高,选用步科的两相混合式步进电机 2S57Q-25B2,保持转矩为 2.5 Nm,步距角为 1.8°,相电流在线圈串联情况下为 2.9 A,并联情况下为 6 A。由于抛光的钢管材质为金属,并且属于精抛,高转速性能相对来说更为重要,因此步进电机在接线上选择高速性能更好的线圈并联式接法^[7]。

步进驱动器选择步科的 2CM880,主要考虑到步进电机线圈并联接法的电流为 6 A,是该型号步进驱动器相电流(峰值)的中位值,能更好地满足抛光的要求。

4.2 程序设计

1) 人机界面的设计

如图 8 所示,触摸屏控制画面提供了二维码,方便操作人员在设备运行中出现问题时联系设备维护人员或者是开发人员。



图 8 主页面

如图 9 所示,触摸屏控制系统包括:主页面、手动界面、自动界面、参数设定和 I/O 监控,通过触摸屏的设备状态信息栏可以查看到当前设备的报警信息,例如急停信号和传感器故障信号等。在 I/O 监控界面可以查看限位开关、气缸当前的运行状态等,在参数设定界面可以实现各种抛光参数的设定,包括步进电机转速、毛刷的旋转方向、抛光时间等。



图 9 自动界面

2) PLC 程序的设计

电源开启后,PLC 控制系统初始化,包括计数器初始化、相关变量初始化、中断信号初始化及报警信息清除等。当系统初始化完成后,系统等待技术员完成启动步骤。主程序流程如图 10 所示,操作工人首先通过触摸屏完成工艺参数的设定。设备启动后,输送带开始运行,将输送带上的钢管送入分料机构,如果 5 min 内无钢管到达分料机构,设备将通过 HMI 控制箱中的蜂鸣器进行报警同时输送带停机,提醒工人放料或者将信号送达前端产线。钢管进入分料槽后为了防止后续的钢管与分料机构或钢管之间产生摩擦损伤,输送带应停机,分料气缸抬升将当前钢管推送入 V 型夹紧槽,输送带可以将下一个钢管送入分料槽。上下 V 型夹紧气缸完成钢管夹持后,步进电机依据触摸屏设定的转速驱动毛刷旋转,毛刷伸缩气缸将毛刷送入钢管内进行打磨抛光,打磨的时间由触摸屏设定,打磨结束后毛刷退出钢管,本次抛光结束。依据触摸屏设定的打磨次数进行多次打磨后,步进电机停止并

返回原点位,送出气缸伸出,将钢管送出抛光工位,完成一个钢管的打磨加工^[8]。

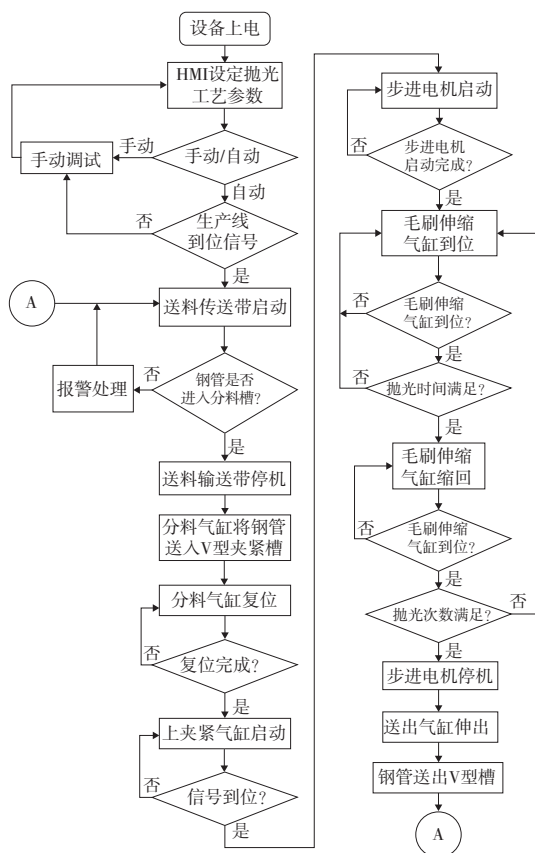


图 10 主流程

实际生产中的设备除了应具备基本的动作流程之外,其实很大一部分的编程与调试工作量是在安全和报警上。例如长时间没有检测到钢管后能实现报警以及执行相应的动作流程,以及限位传感器无信号,气缸故障,气源故障等的判断与处理,方便维修人员快速地对故障进行定位。

5 产品实际效果

如图 11 所示,钢管在抛光处理前在内壁存在划痕或者瑕疵,通过表面粗糙度测试仪检查后发现,产品的粗糙度一般为 $Ra=0.4\sim0.8\mu\text{m}$ 。如图 12 所示,经过抛光机打磨抛光后钢管内壁表面粗糙度提高了两个数量级达到了 $Ra=0.1\sim0.2\mu\text{m}$,显著地提升了产品的品质,完全满足设计要求。

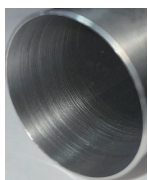


图 11 抛光前钢管内壁



图 12 抛光后钢管内壁

6 结语

自动抛光机实物如图 13 所示。通过巧妙的机械设计以及合理的气动系统与控制系统,实现了抛光工艺的全自动化。自动抛光机可以根据不同材质及产品的特性实现不同抛光工艺的要求,极大地提高了钢管抛光作业的生产效率和产品品质,节省了人工成本。操作员与抛光机可以完全隔离不会吸入粉尘,符合安全与环保的理念;抛光过程中的金属粉尘也可集中处理,不会污染环境,具有较大的经济和社会效益。



图 13 实物图

参考文献:

- [1] 王森,杨宜民,李凯格,等. 抛光打磨机器人智能控制系统研究与开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015(12):94-96.
- [2] 叶建挺. 基于分段近似打磨的进给装置的设计[J]. 橡塑技术与装备, 2016, 42(22):90-91.
- [3] 车延明,宋明安,陆焱,等. 简析人机协作铸件打磨系统的控制要求及 HMI 功能[J]. 制造技术与机床, 2021(9):28-32.
- [4] 周培,陈富林,李权. 一种圆管内孔自动打磨机的设计[J]. 制造技术与机床, 2017(6):117-119.
- [5] 朱逸忠. 电子眼珠壳体类零件典型夹具系统设计[J]. 机床与液压, 2022, 50(2):132-136.
- [6] 邹鑫,何文雪,牛杰. 基于 SIMATIC S7-1500PLC 的电梯监控系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2022, 51(2):210-213.
- [7] 韩金玉,王守志. 基于 PLC 的工字轮内孔抛光机控制系统应用研究[J]. 金属加工(冷加工), 2016(10):63-65.
- [8] 廖达槟,彭一航,陈开源,等. 一种新型不锈钢管快速去毛刺设备的研发与设计[J]. 内燃机与配件, 2019(4):205-206.

收稿日期:2023-02-13