

摘要

冲压成形是不锈钢等金属制品重要的成形方法之一, 不锈钢锅体冲压成形生产线主要由上下料机构和冲床组成, 作为冲床上下料操作工劳动条件恶劣并且具有一定的危险性, 随着要求生产效率不断提高以及劳动力短缺, 实现不锈钢锅体自动上下料的需求越来越迫切。本文首先分析了冲压成形、冲压成形自动上下料系统以及针对不锈钢制品的冲压生产线自动上下料系统的现状, 以及分析了在不锈钢制品自动生产线上料系统中存在的一系列问题及今后该领域的发展趋势。针对不锈钢锅冲压中的拉伸工序开发了自动上下料系统。

本文在研究分析冲压成形生产线上料系统的现状和最新技术发展趋势、不锈钢锅体冲压成形工艺特点和生产要求的基础上, 确定了不锈钢制品冲压成形上下料系统基本设计思路。其次, 制定了不锈钢锅冲压生产线自动上下料系统的整体方案, 采用汽缸作为主要的执行元件、PLC 进行系统控制, 实现圆片板材提升、起边、定心、输送、下料的连续节拍动作, 详细设计并计算了上下料系统中各部件的结构、工作原理, 分析了各部件在整个上下料系统中的作用。接着, 分析了对冲压自动上下料系统的气动、真空系统, 优化设计了不锈钢锅冲压生产线自动上下料系统中的气动及真空系统, 对缓冲回路、压力控制回路、及真空回路进行了优化设计。最后, 优化设计了不锈钢锅冲压生产线自动上下料系统的控制系统。通过 I/O 数量、电源的计算对 PLC 进行选择, 采用西门子 PLC S7-200 系列的 CPU224 接扩展模块 EM223、EM221 的方式对该控制系统进行了设计, 列出了关键部分的顺序功能图, 用语句表的形式写出了该生产线上料系统的控制程序。

关键词: 不锈钢锅体; 冲压; 自动上下料

ABSTRACT

Stamping is one of the important forming methods of stainless steel, stamping production line of stainless steel pot is the mainly composed of feeding and unloading system and punch. As punch feeding-and-unloading's operators, working conditions have certain risk. With constantly improvement of the production efficiencies and shortage of the labor, more and more urgent does stainless steel pot body relised automatic feeding-and-unloading needs. This paper outlines metal punch forming and automatic feeding system. Furthermore, it proposes series of problems and development trend in the field to the present conditions of stainless steel pot automatic production line system.

Based on the study of present situation and the development trend of latest technology of stamping automatic feeding and unloading system, this paper determined the basic design ideas of the stainless steel products stamping feeding and unloading system. Secondly, the mainly contents of this paper includes formulated whole plan of the stainless steel pot stamping automatic feeding and unloading system, the cylinder as the main actuators, PLC control system, realize beat movement of continuous discs's elevator, on edge, centering, conveying, unloading, detailed designing and calculating structure and working principle of each components in feeding and unloading system, analyzed role of each component in the whole feeding and unloading system. Then, analyzed the pneumatic and vacuum system of the stamping automatic feeding and unloading system, optimized and designed pneumatic and vacuum system for stainless steel pot stamping automatic feeding and unloading system, and optimized and designed the buffer circuit、 pressure control circuit vacuum circuit and vacuum circuit. Finally, optimized and designed control system for stainless steel pot punching feeding and unloading system. Through the quantity of I/O and the power calculation to choose the of PLC, adopted the way of the Siemens PLC S7-200 CPU224 connect extension module of EM221、EM223, to design the control system, listed the key part of the Sequential Function Chart, writed the control program of this feeding and unloading system by used the ladder-diagram form.

Keywords: Stainless steel pot; Stamping; Automatic feeding and unloading

摘 要	I
ABSTRACT	II
目 录	III
CONTENTS	VI
第一章 绪论	1
1.1 课题研究背景	1
1.2 板料冲压成形自动上下料系统的发展	1
1.2.1 冲压成形自动上下料系统的现状	1
1.2.2 冲压成形自动上下料系统的发展趋势	5
1.3 课题来源、研究目的、研究意义	6
1.3.1 课题来源	7
1.3.2 课题研究目的和意义	7
1.4 本文的主要工作	7
第二章 冲压上下料系统的总体方案设计	8
2.1 不锈钢圆片及冲压机床的主要参数	8
2.2 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的整体要求	9
2.3 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统总体结构	9
2.4 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的整体速度控制	11
2.4.1 生产线流程的节拍	11
2.4.2 冲压自动上下料系统各执行元件的速度分配	11
2.5 本章小结	13
第三章 冲压上下料系统核心部件优化设计	14
3.1 机械手设计	14
3.1.1 机械手方案的比较与选择	14
3.1.2 机械手的结构和工作原理	16

3.1.3 机械手的具体零部件的选择与结构设计	18
3.2 提升机的设计与分析	22
3.2.1 提升机的基本结构设计	22
3.2.2 提升机的工作原理	25
3.2.3 提升机的具体设计	26
3.3 其他部件设计	30
3.3.1 起边机构	30
3.3.2 定心装置	34
3.3.3 输送机	36
3.3.4 涂油机	38
3.3.5 下料架	40
3.4 本章小结	41
第四章 冲压上下料系统气动及真空系统设计	42
4.1 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的气压传动要求	42
4.2 气动系统设计	42
4.2.1 气压传动简介	42
4.2.2 气动程序控制	43
4.2.3 气动系统设计	43
4.2.4 气动系统的关键技术	45
4.3 真空系统设计	45
4.3.1 真空系统简介	45
4.3.2 真空系统具体设计	46
4.3.3 真空系统的关键技术	47
4.4 气动系统与真空系统的整体分析	47
4.4.1 组合系统的工作流程及原理	48
4.5 气动回路中和辅助元件的选择	49
4.5.1 各气缸耗气量的计算	49
4.4.2 主控阀、辅助阀、速度控制阀、消声器、配管等的选型	50
4.6 本章小结	51

第五章 冲压上下料系统的 PLC 控制	53
5.1 PLC 概述	53
5.1.1 PLC 的工作原理	53
5.1.2 PLC 的结构组成及其编程	54
5.2 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统控制特点分析	55
5.3 PLC 及扩展模块的选择	55
5.3.1 I/O 点的选择	55
5.3.2 电源计算	56
5.3.3 I/O 点的分配	57
5.4 不锈钢锅冲压成形自动上料系统的 PLC 程序的编制	61
5.4.1 主程序	61
5.4.2 自动循环	61
5.4.3 复位程序	65
5.4.4 报警的实现	65
5.4.5 外部接线	65
5.5 操作说明	67
5.6 本章小结	67
总结与展望	68
参考文献	69
攻读学位期间发表的论文	72
独创性声明	73
致谢	74

CONTENTS

ABSTRACT	I
ABSTRACT	II
CONTENTS	III
CONTENTS	VI
CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
1.1 Background of the reasearch.....	1
1.2 Development of feeding and unloading system.....	1
1.2.1 Status of feeding and unloading system.....	1
1.2.2 Trend of feeding and unloading system	5
1.3 Subject source,purpose and significance of the project.....	6
1.3.1 Subject source	7
1.3.2 Subject purpose and significance	7
1.4 Research objectives.....	7
CHAPTER 2 WHOLE DESIGN OF THE STAMPING FEEDING AND UNLOADING SYSTEM	8
2.1 Main parameters of stainless steel discs and stamping machine	8
2.2 Requirement of stainless steel pot feeding and unloading system	9
2.3 Global structure of stainless steel pot feeding and unloading system	9
2.4 Global speed contro of stainless steel pot feeding and unloading system.....	11
2.4.1 Beat of production line process.....	11
2.4.2 Feeding Unloading production line speed distribution.....	11
2.5 Summary	13
CHAPTER 3 STRUCTURE OPTIMIZATION DESIGN OF CORE COMPONENTS OF STAMPING FEEDING AND UNLOADING SYSTEM	14
3.1 Manipulator design	14
3.1.1 Robot program comparison and selection.....	14

3.1.2 Manipulator structure and operating principle.....	16
3.1.3 The specific parts of the robot selection and structure design.....	18
3.2 Design and analysis of elevator	22
3.2.1 The basic structure design of elevator	22
3.2.2 Working Principle of elevator	25
3.2.3 The specific design of elevator	26
3.3 Other structure design.....	30
3.3.1 Flange forming structure.....	30
3.3.2 Centering	34
3.3.3 Conveyer	36
3.3.4 Greased machine	38
3.3.5 Baiting rack	40
3.4 Summary	41
CHAPTER 4 PNEUMATIC AND VACUUM SYSTEM DESIGN OF STAMPING	
FEEDING AND UNLOADING SYSTEM.....	42
4.1 Pneumatic requirement of stainless steel pot feeding and unloading system.....	42
4.2 Pneumatic system design	42
4.2.1 Introduction of pneumatic transmission.....	42
4.2.2 Pneumatic process control.....	43
4.2.3 Pneumatic system design	43
4.2.4 Pneumatic system key technology	45
4.3 Vacuum system design	45
4.3.1 Introduction of vacuum system.....	45
4.3.2 The vacuum system specific design.....	46
4.3.3 Vacuum system key technology	47
4.4 Global analysis of pneumatic and vacuum system	47
4.4.1 Working process of composite system.....	48
4.5 Pneumatic circuit and secondary element selection	49
4.5.1 Air consumption of cylinder	49

4.4.2 Valves selection.....	50
4.6 Summary	51
CHAPTER 5 PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) OF STAMPING FEEDING AND UNLOADING SYSTEM.....	53
5.1 overview of Programmable logic controller	53
5.1.1 Working principle of Programmable logic controller.....	53
5.1.2 Programming and structure of programmable logic controller.....	54
5.2 Analysis of control characteristics about stainless steel pot feeding and unloading system.....	55
5.3 Slection of PLC and extended module.....	55
5.3.1 Slection of I/O points	55
5.3.2 Power compute	56
5.3.3 Distribution of I/O points.....	57
5.4 Programming of stainless steel pot feeding and unloading system	61
5.4.1 Mmain program.....	61
5.4.2 Automatic cycle.....	61
5.4.3 Reset program	65
5.4.4 Alarm realization.....	65
5.4.5 External wiring.....	65
5.5 Brief operation manual	67
5.6 Summary	67
CONCLUSIONS AND PROSPECTS	68
REFERENCES	68
LIST OF PUBLICATIONS.....	72
ANOUNCEMENT	73
ACKNOWLEDGEMENTS	74

第一章 绪论

1.1 课题研究背景

经过对某专业生产高、中级档次不锈钢餐厨炊具、不锈钢器皿，配套生产玻璃盖、铝制品、塑胶制品、厨房小家电以及五金等产品的不锈钢制品企业调研发现，该公司近几年平均年产 1200 万只不锈钢底锅以及 360 万只铝锅，工人每天劳动 8 个小时，据调查，在这 8 个小时内大多数时间都是在不停地做着工作简单且不用多大的力气的涂油、上料、下料、检测等无休止的重复劳动，需要耗费大量的精力，意外事故发生率较高，一旦工人疲劳了就可能走神而发生意外事故，时刻安全隐患威胁着操作工人；而自动化生产方式采用很少，只用在输送方面；更重要的是偏远地区的企业招工难已经成为一个非常重要的难题，大多数毕业生都愿意留在大城市发展。而在大城市由于人口密度较大，招工虽然较易，但生产效率依然很低^[1]。自 2010 年以来，不锈钢锅生产产业已经进入寡头竞合期，世界各国都在抓机遇加快自身发展，以提高自己的竞争力，因此我国本土的不锈钢锅生产企业提高生产效率，解决招工难的问题已经非常急切。

从圆片到不锈钢锅的成形工艺过程通常为：落料——涂油——拉伸——第一次切边——成形——第二次切边——卷边——压底（图 1-1）。

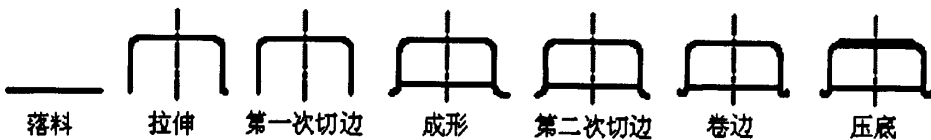


图 1-1 不锈钢锅体成形工艺

Fig.1-1 Stamping process of stainless steel pot

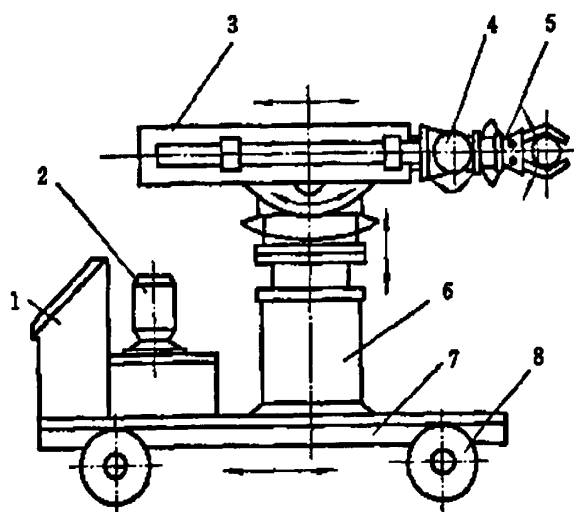
1.2 板料冲压成形自动上下料系统的发展

1.2.1 冲压成形自动上下料系统的现状

1.2.1.1 上料系统的主要结构

板料的上料过程是将已成叠堆放在储料架内的材料，转移至冲压模具中心的过程。目前工厂主要的自动上料结构主要有两种冲压机械手自动上料和自动上料系统

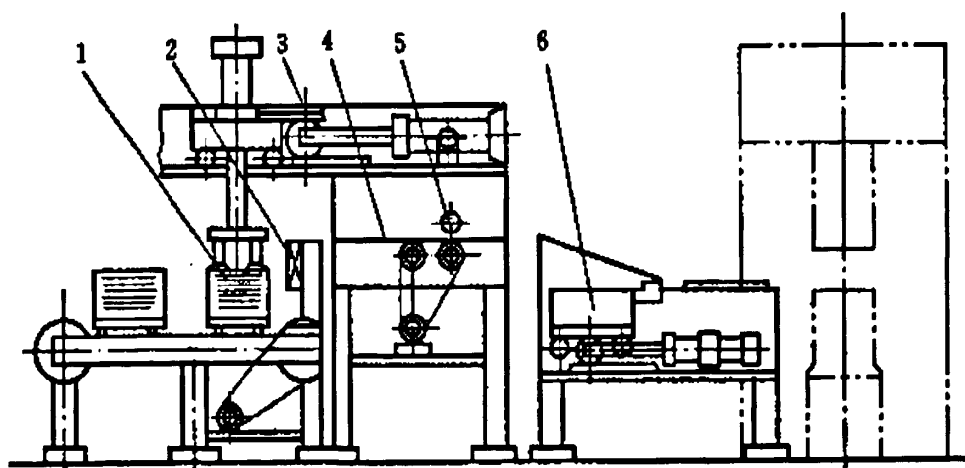
上料。冲压机械手自动上料结构如图 1-2 所示，通过臂部 3、腕部 4、手部 5 的运动、运动形式及其结构形式的组合来实现冲床的上料动作，通过驱动部 2 控制行走机构 8 来实现较远距离的运动与上料^[2]。



1、控制部件 2、驱动部件 3、臂部 4、腕部 5、手部
6、机身 7、机座 8、行走机构

图 1-2 冲压机械手

Fig.1-2 Stamping manipulator



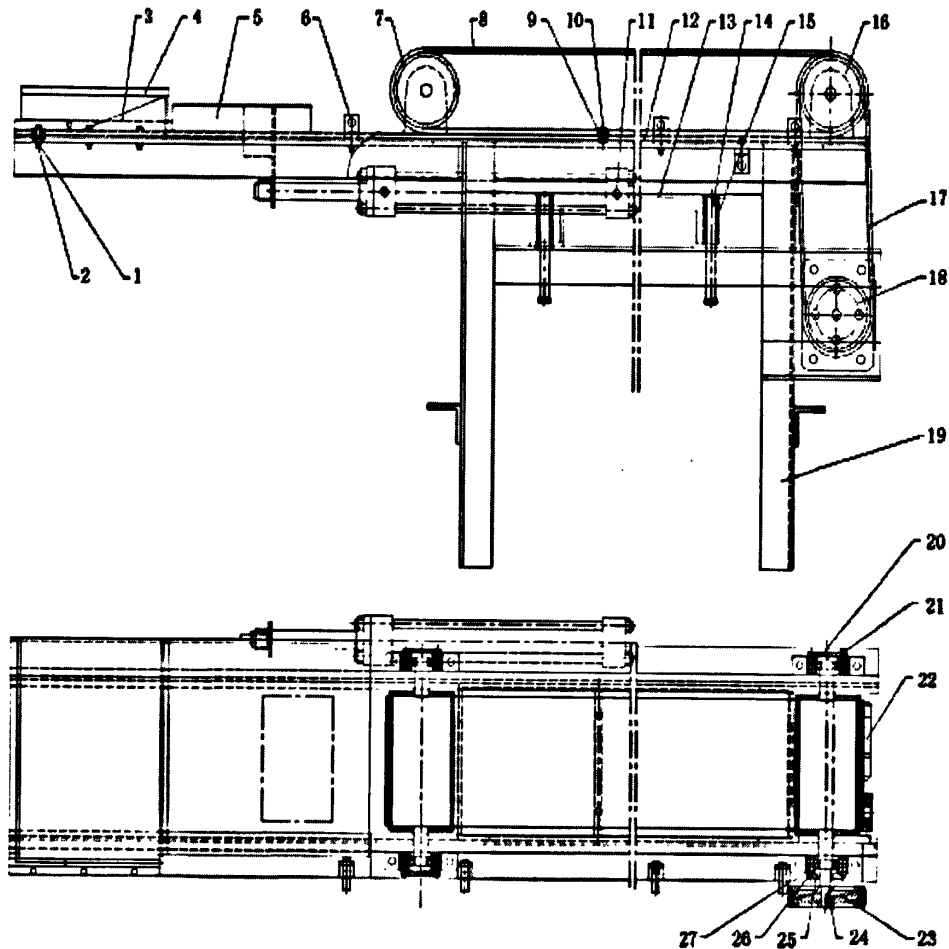
1、料架 2、分离装置 3、移栽机构 4、辊道 5、上油装置 6、送料机构

图 1-3 板料上料系统

Fig.1-3 Sheet feeding system

另一种上料方法为自动上料系统上料（组成结构如图 1-3 所示）。板料堆放在料

架 1 上, 6 料架传送到吸料装置下, 真空吸盘吸住材料, 经分离装置 2 分离后被提升, 再由移栽机构 3 将吸盘连同板料右移, 释放后的材料落在辊道 4 上, 经上油装置 5 上油后, 送到送料机构 6。然后送到压力机的工作位置进行冲压。各部分的设计结构不同, 所达到的目的不同, 适用的具体场合也会有所改变^[3]。但送料机构与压力机之间还需增加副加的转移机构, 使送料机构输送来的板料, 运送至压力机模具中心。



- 1、螺母 2、10、21、螺栓 3、斜楔 4、接料盘 5、料盘支架 6、霍尔开关传感器
7、16、拖拽带 9、送料板 11、液压缸 12、导轨 13、承料板 14、导向柱
15、圆柱形螺旋压缩弹簧 17、同步带 18、23、带轮 19、机架 20、端盖
22、液压马达 24、平键 25、透盖 26、滚动轴承 27、轴承座

图 1-4 自动上料及出件装置

Fig.1-4 Automatic feeding and reclaiming device

图 1-4 为山东理工大学设计的自动上料及出件装置, 工作时由液压马达 22 提供

动力,通过带传动,将动力传送到拖拽辊 16 上,带动固定在拖拽带 8 上的送料板 9 沿导轨 12 滑动,送料板 9 推动料板前进并通过霍尔开关传感器控制送进步距,使板料准确送至加工位置。紧接着,压力机滑块下行,带动上模完成冲压加工过程。当上模在压力机滑块的带动下上升到一定高度时,液压缸 11 带动料盘支架 5 和接料盘 4 滑向模具,接住由凹模内掉出的工件。经过一定延时,液压缸 11 使料盘支架 5 反向滑动。在回程时斜楔 3 作用,使接料盘 4 翻转一定角度将其中的工件滑出,掉在压力机旁边的储件箱内。当完成一块料板的加工后,送料板 9 退回原位,在弹簧作用下,下一块料板进入推料区域。通过控制系统使压力机、上料机构、出件小车协调配合,循环复始地完成对板料的冲压加工^[4]。

1.2.1.2 自动下料装置的主要结构

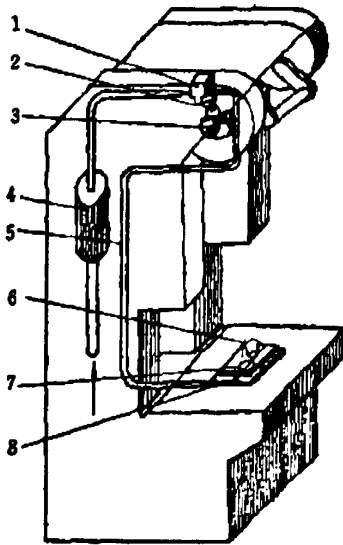
自动下料装置是把冲压下来的工件自动送离冲模作业点的装置,采用自动出件装置,一方面可大大减轻工人的劳动强度,另一方面可降低工伤事故发生的概率。常用的自动下料装置有气动式、机械式、机械手等形式。

气动式主要以压缩空气吹件式(如图 1-4)为主,它利用压缩空气将工件或废料从模具中吹出。气阀的结构、动作原理如图 1-6 所示。压缩空气由下部进入储气筒中,气筒的上端出口和气阀的进气孔 4 相接,气阀右边的出气孔 6 通过管道和喷嘴相连接。冲压时,阀芯 5 在弹簧 3 的作用下处于最下端位置,气路被切断,进气孔和出气孔不通,喷嘴无气喷出。当冲压完成,凸模从下模中退出一定距离后,顶料装置把工件从下模顶出。此时,曲轴带动装在其端部的凸轮 9 转动,顶起阀杆,使阀芯 5 向上移动,

进气口与出气口接通,压缩空气通过气阀由喷嘴喷出,同时把工件吹出^[5]。

压缩空气吹件装置结构简单,广泛用于小型冲压件的出件,但工件被吹出后的方位不能控制、定向,噪声也较大。

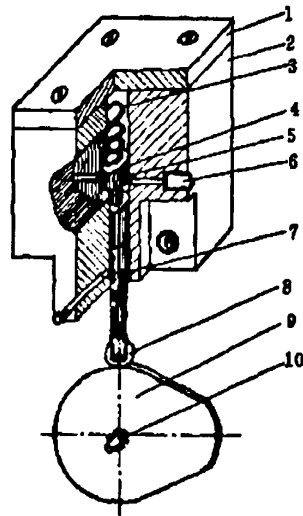
机械式下料装置以接盘式（如图 1-6）为主，也有弹簧式、托杆式等结构形式。接盘式由上摆杆 3、接盘 5 和下摆杆 6 等组成。上摆杆 3 的上端和上模相铰接，下端和下摆杆 6 铰接。接盘 5 和下摆杆 6 焊接成一个整体并成一定夹角 β 角，下摆杆 6 下端与下模铰接。当压力机滑块回程，带动上模回程时，上摆杆 3 在上模的带动下，使下摆杆 6 向上摆动， α 角由大变小，上模到达最高位置时，接盘处于水平位置，工件在冲模推件装置打料杆的推动下落到接盘上；当滑块下行带动上模下行时，下摆杆 6 向下摆动，使接盘 5 向外摆出，下摆杆摆到最低位置时，接盘 5 具有较大的倾斜度，使工件沿着接盘底面滑下。接盘式出件装置结构简单，工作可靠，在实际生产中应用非常广泛^[2,6]。但上下摆杆直接安装在上下模座上，有可能对冲床的运动产生一定的干扰，安全性较低。



1、气阀 2、阀杆 3、凸轮
4、储器筒 5、管道 6、工件
7、下模 8、喷嘴

图 1-5 压缩空气吹件下料装置

Fig.1-5 Feeding equipment of
compressed air blowing



1、盖板 2、阀体 3、弹簧
4、进气孔 5、阀芯 6、出气孔、7、
螺栓 8、滚子 9、凸轮 10、轴

图 1-6 气阀的结构

Fig.1-6 Valve structure

1.2.2 冲压成形自动上下料系统的发展趋势

随着电子、计算机、自动控制以及精密机械与测试技术的不断提高和发展，冲

压成形自动上下料系统也在随着精密机械的发展而在迅速发展和演变。概括起来主要表现在以下一些方面^[7, 8]:

1.2.2.1 高精度化

随着冲压产品对精度的要求越来越高, 冲压上下料系统中很多精密零件的误差范围要求在微米以内, 与之相适应, 在计算机技术发展的推动下, 各种加工精度的控制、反馈及其补偿技术得到了广泛的应用和发展, 使得上下料系统的上料与下料精度越来越高。作为冲床的辅助设备, 自动上下料系统的精度会直接影响冲压产品的精度, 追求上下料系统的高精度化是永恒的主题, 主要表现在各运动部件位置控制及其送料精度上。

1.2.3.2 高速度化

提高生产效率作为冲压自动生产线上料系统的主要目的之一。尽可能满足最快压力机的生产, 目前对于大型的壓力机的最高连续行程达 20~22 次/min。

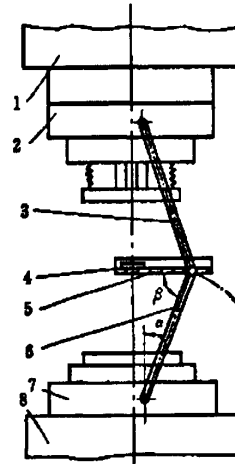
1.2.3.3 高自动化

自动化是指在全部加工过程中, 减少“人”的介入, 而能自动地完成规定的任务。特别是现代数控技术、过程控制技术与冲压自动上下料系统的结合, 使其真正的高度自动化成为可能。

1.2.3.4 高可靠性

随着我国冲压行业的发展, 作为冲压成形的辅助设备的冲压自动上下料系统性能与世界的接轨, 冲压生产自动化程度的进一步提高, 对冲压生产的上下料技术也提出越来越高的要求, 以满足与冲压设备的配套。

1.3 课题来源、研究目的、研究意义



1、压力机滑块 2、上模 3、上摇杆
4、工件 5、接盘 6、下摇杆
7、下模 8、工作台图
1-6 接盘式出件装置

Fig.1-6 unloading equipment of tooling
dics

1.3.1 课题来源

广东省教育部产学研合作项目：不锈钢制品表面绿色光整工艺及成套装备
项目编号：2009B090300228

1.3.2 课题研究目的和意义

冲压成形自动上下料系统是冲压自动化生产线的基础，其自动化程度决定着冲压生产线的自动化程度，为多台单工序冲床组成的冲压自动生产线的研究与开发做了基础性工作。针对我国普遍存在的这种招工难、效率低、自动化程度不高、事故发生率较高的情况，在原金属板材冲压成型设备基础上，研发并设计制造的自动上下料系统把不锈钢圆片冲压过程中的涂油、输送、定心、拉伸成形、下料等生产单元构建自动化成套装备甚至全自动柔性生产线，实现不锈钢圆片冲压成型工艺的生产流程化，自动、快节奏的规模化生产。从根本上解决生产效率低，招工难的问题，在替代进口、提高我国的不锈钢冲压产业收益方面，具有显著经济效益和社会效益。

1.4 本文的主要工作

本文所做的就是针对完成不锈钢锅拉伸工序的这台冲床，设计的一套上下料系统，使该系统能有效且可靠的运行，切实提高公司的生产率和安全性，为整条生产线设计做一个良好的开端。

该冲床的上下料系统的设计主要包括该上下料系统的总体方案的设计、各气缸行程及速度的确定，以及组成该该上下料系统的机械手、提升机、涂油机、起边机构、定心机构、输送机的具体结构设计，常用零件的设计计算与选择，并给出非标零件的结构三维图；设计了该上下料系统中气压与真空系统，叙述了气动系统的工作过程，通过计算对主控阀、辅助阀、消声器、配管进行了选择；最后对该上下料系统的 PLC 控制系统进行了设计，包括电源的计算、输入/输出的分配、PLC 中 CPU 及扩展模块的选择、PLC 程序的编制、主要部件的运动流程图及顺序功能图，外部接线及操作说明。

第二章 冲压上下料系统的总体方案设计

2.1 不锈钢圆片及冲压机床的主要参数

不锈钢经剪板机剪下的圆片参数如表 2-1 示，拉伸锅体冲床参数如表 2-2 所示。

表 2-1 不锈钢圆片参数

Table2-1 Parameters of Stainless steel discs

材料	不锈钢 304
化学成份	碳≤0.08，矽≤1.00，锰≤2.00，磷≤0.045，硫 0.03，镍 8.0-10.5，铬 18-20
牌号	0Cr19Ni9 (0Cr18Ni9)
化学性能	具有良好的耐蚀性、耐热性、低温强度和机械特性以及良好的加工性能和可焊性，为国家认可的食品级不锈钢。
直径范围	□100~250 mm
最大重力	8 N

表 2-2 冲压机床参数

Table2-2 Parameters of punch

四柱动力油压机 型号：YC24——120		
工作压力	主缸	760 KN
	压边缸	350 KN
最大行程	主缸	400 mm
	压边缸	200 mm
工作速度	快速	175 mm/s
	压制	17 mm/s

2.2 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的整体要求

不锈钢锅底板冲压成形自动上下料系统的基本要求，概括来讲就是要以一定的节拍将原料圆片准确输送到模具冲压拉伸工位，冲压拉伸成形完成后快速将制成品输送出去，具体要求包括如下几个方面：

- 1、要能够准确无误实现对不锈钢锅冲压成形的自动上下料；
- 2、该上下料系统要实现节拍为 8 次/分钟；
- 3、各运动部件应传动平稳，无冲击，无噪音，传动可靠性好，各部分结构要合理；
- 4、根据具体情况，尽量在不改变工厂原来机床以及输送设备摆放的情况下，能够顺利安装该自动上下料，降低成本；
- 5、为保证生产效率，该上下料系统中的机械手吸起圆片的时间 T 不高于 1s；
- 6、控制时，应设有自动和手动两种工作方式，在自动方式下还应尽量设置有点动，手动方式下各个部件要能够单独运行，便于提高效率和故障的排除与修理；
- 7、各部件工作时应该设置指示灯，便于监视各部件的运动状态。
- 8、在满足以上条件的情况下，应该尽量使操作简单、美型美观以及成本、安全、环保等众多方面的考虑。

2.3 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统总体结构

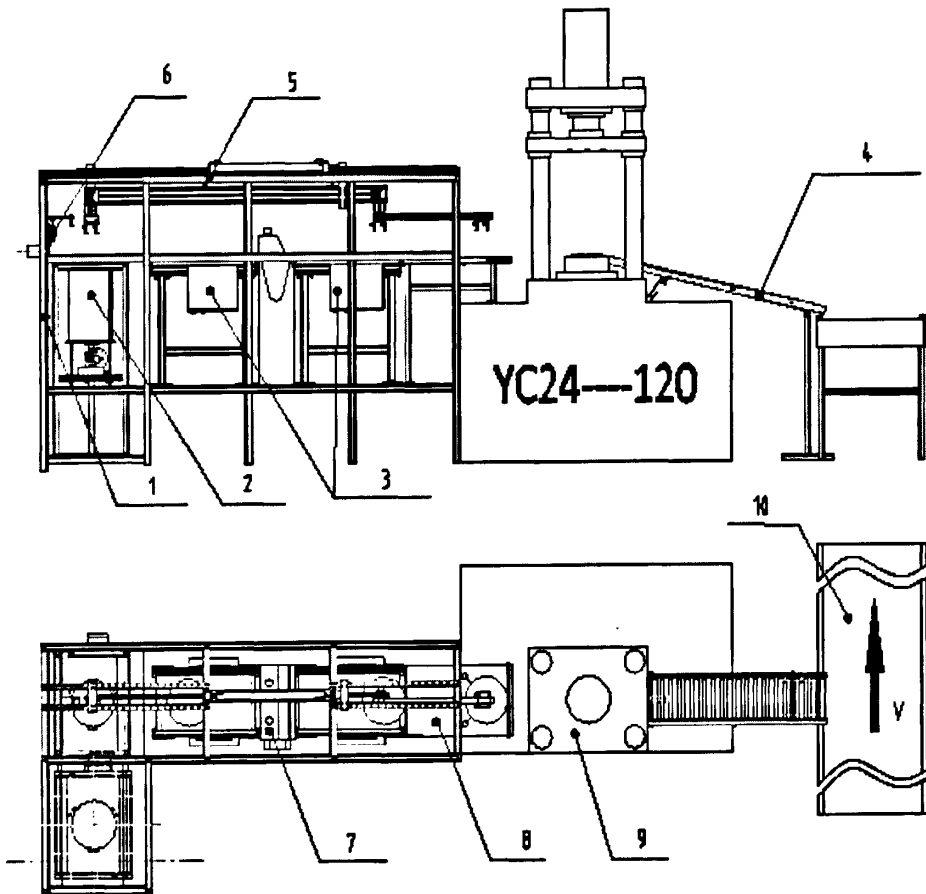
为了便于实现上下料系统的自动化，便于整体控制，提高生产率和产品质量，使堆好的圆片堆上的圆片经过一定的过程，逐片的放入冲压模具的中心。现确定该不锈钢锅底板冲压成形自动上下料系统的整体结构由起边机构、提升机、输送机、涂油机、定心机构、机械手、下料架、冲床、传送带组成（如图 2-1）。各组成部分都安装在由方管焊接而成的上料架上。

各部分结构和任务简述如下：

提升机采用伺服电机经蜗轮蜗杆减速器并由丝杆与丝杆螺母的传动来实现圆片堆的提升，且该提升机能够在导轨上滑动，导轨安装在上料架上，通过提升机的这种滑动来实现上料系统的人工换料。

定心机构采用三点定心原理，由一气缸推动或者拉动两滑块和一个固定点来定心，该定心机构使圆片经机械手搬运后能准确送达冲压模具的中心，该定心机构可以能过调节固定点来实现对不同直径圆片的定心。

机械手安装在上料架上，由 Y、Z 两个方向的运动组成，Y 方向采用导轨滑块的形式，由水平气缸推动滑块在导轨上运动来实现；Z 方向的运动左右两个机械臂组成，两机械臂分别由两气缸控制，机械手的手部结构采用真空吸盘组来实现，靠真空发生器形成真空，设计时需考虑圆片的体积与重量，应该避免真空量不足，避免效果不佳而产生危险，虽然圆片较轻，但也应该制定防止脱落的措施，及安全管理工作，具体结构主要用三组真空吸盘来实现，由吸盘直接吸起圆片而实现圆片的移栽两滑台均采用气缸和导轨的组合形式，采用导轨的目的是来实现导向并承受径向力及倾覆力，由于工作滑台体积小，坚固，精度高，它将普通气缸与直线导轨组合在一起，平行度可达到 $30\mu\text{m}$ ，垂直度可达到 $50\mu\text{m}$ ，从而实现提升机到输送机、从输送机到定心机构、从定心机构到冲压机床模具中心的串联。



1、上料架 2、提升机 3、输送机 4、下料架 5、机械手 6、起边装置

7、涂油机 8、定心装置 9 冲床 10、传送带

图 2-1 上下料系统

Fig. 2-1 Feeding and unloading system

2.4 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的整体速度控制

2.4.1 生产线流程的节拍

生产线流程的“节拍”(Cycle time)是指连续完成相同的两个产品(或两次服务,或两批产品)之间的间隔时间。换句话说,即指完成一个产品所需的平均时间。

一个生产加工物流系统,无论是进行物料输送,还是进行生产装配,都有一个最基本的指标,就是生产节拍,也就是输送或生产单件工件所需的时间。生产节拍值的大小反映了系统当前的生产能力,值越小,生产单件工件所需的时间就越短,生产能力就越强;相反,值越大,生产单件工件所需的时间就越长,生产能力就越差,生产节拍是根据产量的要求进行确定的,但当一个生产加工物流系统按照产量要求确定了生产节拍,那么它最大的生产能力就已经确定下来,不可更改^[9]。

根据要求为了实现生产频率为 8 次/分钟,则节拍

$$C = Fe / N \quad (2.1)$$

C: 节拍, s;

F_e: 有效作业时间, s;

N: 计划产量, 件。

节拍为 7.5 秒,也就是说每 7.5 秒要实现一次循环。因此我们必须对机械手中的各气缸、输送机、涂油机的速度进行初步分配与控制。

2.4.2 冲压自动上下料系统各执行元件的速度分配

不锈钢锅冲压成形自动上下料系统是冲压自动生产加工中的重要环节,由提升机,输送机,涂油机,定心装置,起边装置,冲床以及由气缸和吸盘组成的机械手组成,通常可以通过各组成部分速度的变化,来实现该自动冲压生产线上料系统的生产节拍,可见冲压自动上下料系统中各部分的运行速度与整个系统的生产节拍有着密不可分的关系,生产线的各部分的运行速度是实现生产节拍的直接保障。

一般不锈钢锅生产厂家各设备的摆放位置及状态如图 2-2:

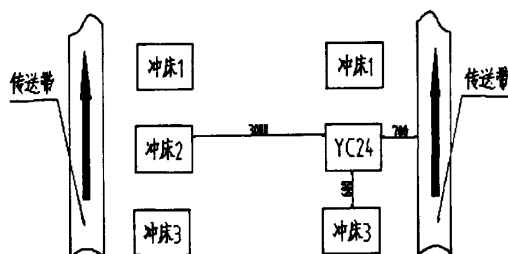


图 2-2 现场布置

Fig. 2-2 Site layout

根据布置图可知，YC24 冲床左侧只有 3 米的空间，因此所设计自动生产线上料系统中水平方向各运动部件的行程不能太大，而垂直方向的行程不宜过长，但要预留一定的调整长度。如若太长，则会影响整个自动上下料系统的生产效率，各气缸的行程安排如下：

起边气缸的实际行程为：50mm

水平气缸的实际行程为：600mm

垂直气缸的实际行程为：50mm

定心气缸的行程为：75mm

设计时，先假设该不锈钢锅冲压上下料系统中各气缸的平均运行速度为一定值，然后根据所选具体气缸所能承受的最高速度来确定各气缸的速度。

由于真空吸盘从打开真空发生器至到达压力开关指定压力需要一定时间，真空吸盘放下工件也需要一定时间，根据分析，总停留时间约为 2s，冲床冲压时间大约为 1.5s。而在一个循环过程中除冲压和停留所花时间外，中间运动过程所花时间为 4s，而中间所运动的距离则分为两个不同的方向，一个方向经起边机构、机械手、冲床，另一个方向经起边机构、输送机、涂油机、定心装置、冲床。由前一个方向确定气缸运动的平均速度，由后一方向确定输送机，涂油机的转动速度。

由经起边机构、机械手到冲床的这条运动路线可知，该运动路线运动距离由起边气缸的往返运动、两次垂直气缸的往返运动、水平气缸的往返组成，因此运动距离为 1500mm，因此生产线中各气缸的平均运动速度应该为 375mm/s。

平均速度的具体分配：起边气缸：450mm/s；左右机械臂气缸：150mm/s；水平气缸 450mm/s；定心气缸：450mm/s。

而经起边机构、输送机、涂油机、定心装置到冲床这条路线的运动距离则由输送机的长度来决定，本不锈钢锅底板冲压成形自动生产线上料系统采用的是两台

输送机的形式，各输送机的长度为 600mm，因此确定带式输送机的带速为 1m/s，而为了确保圆片经过涂油机时，不会出现卡死现象，应该使涂油机羊毛滚筒的线速度与输送机的带速一致。

2.5 本章小结

本章主要对不锈钢锅底板冲压成形自动上下料系统的总体要求以及总体结构进行分析与设计，根据生产频率对生产线的节拍进行了计算，以及初定了各气缸行程及各运动部件的运动速度。

第三章 冲压上下料系统核心部件优化设计

3.1 机械手设计

机械手一般可分为夹持型、托持型和吸附型三种。由于本设计机械手所持工件为圆片，重量轻且薄，易变形，直径较大，就机械手的结构形式而言采用夹持型机械手很难满足要求，而用托持型机械手要增加一些多余的环节（比如把圆片放入托盘、从托盘上放下涂油等），成本太高，不合实际。因此用于该冲压自动上下料系统的机械手选用真空吸盘吸附型。根据总体方案以及实际情况，该上下料系统的机械手的作用是：把起边机构，涂油机，输送机，定心机构，冲床以及下料架串联起来，使它们联接成统一的整体，使经起边后的圆片能够顺利进入冲压模具的中心同时能顺利把已拉伸好的不锈钢锅推出冲压模具，堆上下料架。且定位精度较高，冲击小，可靠性要好，寿命应尽可能长。因此只需 Y、Z 两个方向的直线运动即可实现（2 自由度），但需要左右两机械臂同时运动才能达到把各部件串联的作用。由于气源容易获得，采用气动式机械手维护简单，成本低且便于实现自动化。

3.1.1 机械手方案的比较与选择

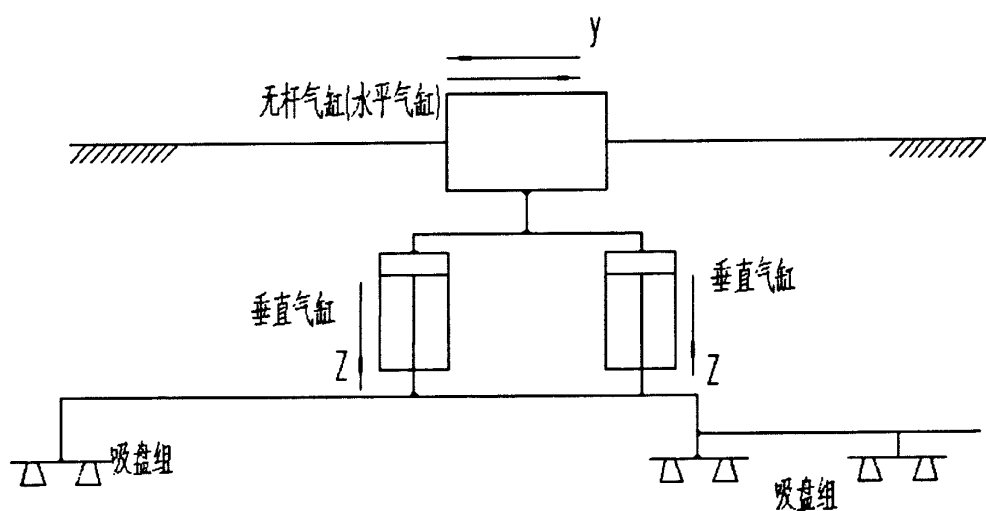


图 3-1 移栽机械手方案一

Fig.3-1 The first scheme of transplanting manipulator

Y、Z 两个自由度根据不同的气缸组合形式，实现形式则有很多种，以下是两种方案的情况。

方案一如图 3-1 所示采用一个无杆气缸和两个导杆气缸的实现形式，该方案由于无杆气缸受力范围较广可以承受较大的径向力和转矩，实现较为方便，且可靠性较高，通过选择合适的无杆气缸以及缓冲形式就即可实现。但方案成本较高，维护较困难，且维护成本高，若无杆气缸出现故障后，只能通过更换气缸的形式进行维修；考虑到气体的可压缩性，该方案采用两垂直气缸的活塞杆的刚性联接来实现同步，该联接形式理论上可以实现两气缸的同步，但实际中由于两气缸的机械加工和安装误差会影响同步精度，会出现别劲现象，使两气缸的联接杆产生副加的内力。

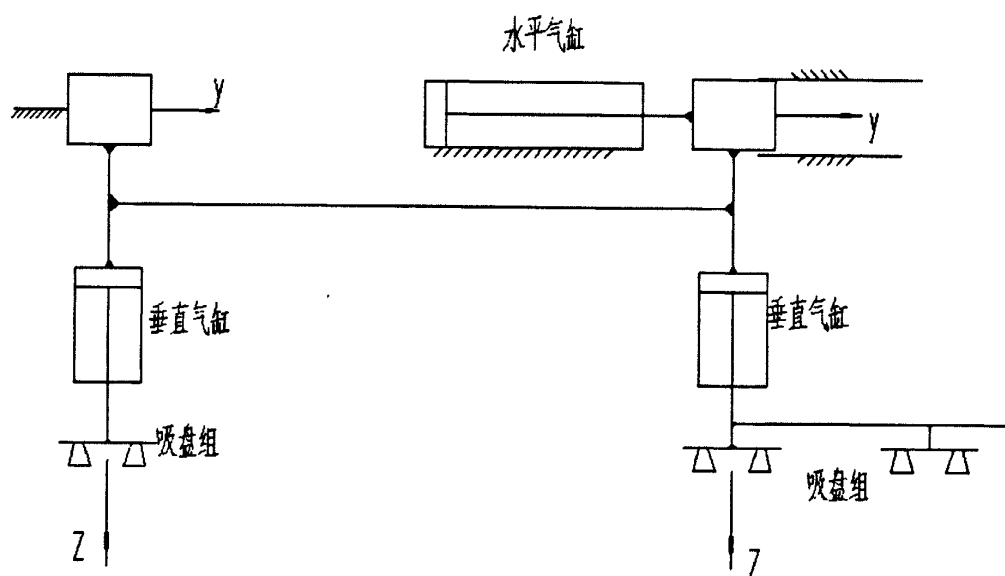


图 3-2 移栽机械手方案二

Fig. 3-2 The second scheme of transplanting manipulator

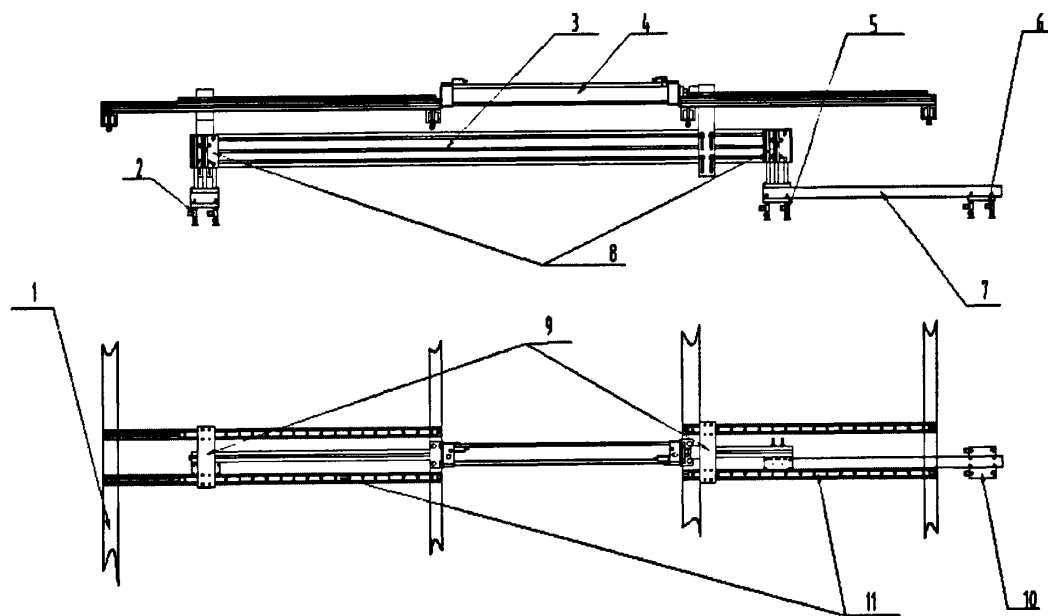
方案二如图 3-2 所示采用一个普通气缸和两个导杆气缸+导轨的形式来实现机械手 Y、Z 两个方向的运动。由普通气缸推动两安装在导轨上的滑块来实现机械手的 Y 向运动。其中导轨用来导向并承担水平气缸所承受的径向力和转矩，虽然右边垂直气缸由于受力不对称，会产生一定的径向力，但由于两组吸盘距离较小，且导杆气缸本身可以承受一定的径向力，只要合理选择导杆气缸的型号就可以使受力较为合理；另外这种形式可以不考虑两垂直气缸的同步问题，只需在气动控制时加以

注意就可以实现两气缸在都吸住（放松）圆片时，气缸活塞杆才同时缩回，完成 Z 方向的运动；相比方案一在结构方面较复杂，但由于用普通气缸代替无杆气缸成本有所降低，维护也较为方便。

综上所述可知方案二是方案一的改进和发展，采用方案二更能满足降低成本和达到一定可靠性以及定位精度的要求。

3.1.2 机械手的结构和工作原理

3.1.2.1 机械手的结构



- 1、上料架 2、左臂吸盘组 3、联接板 4、水平气缸 5、右臂吸盘组 I
6、右臂吸盘组 II 7、吸盘安装杆 8、左右机械臂气缸
9、滑块 10、吸盘安装板 11、直线导轨

图 3-3 移栽机械手

Fig. 3-3 Transplanting manipulator

机械手结构图如 3-3 所示，主要包含以下结构部分：驱动部件、导向部件、取料机构、缓冲机构等^[10]。1、驱动部件是自动机械的核心，该驱动系统采取 3 个气缸驱动，一个水平气缸驱动两机械臂的水平运动，两垂直气缸分别驱动左右两机械臂，选择时应该尽可能使负载质量轻，且气缸本身质量尽可能小，气动系统的设计在第四章中介绍。2、导向部件是为了保证设备的运动精度，采用两对直线导轨 11

加两滑块 9 的结构形式。两对导轨都安装在材料为 6061 的 4040 型铝型材上，作用是起导向并保证运动精度的作用；两滑块通过螺栓与联接板 3 联接，实现两滑块的同步运动，作用是便于安装机械臂，使受力合理，同时传递水平气缸所驱动的 Y 向运动。3、取料机构作为机械手的抓取部件，采用真空吸盘吸取的形式。由于圆片面积较大，若采用单个吸盘直接吸取工件，易出现受力不均、运动过程中圆片变形等情况，因此采用四个吸盘组成的吸盘组来实现机械手的取料，保证抓取的有效与安全。而由于左右两机械臂所要取料的起点和终点位置均不同，因此采用三组，每组 4 个吸盘的实现形式，因此该机械手又称为移栽机械手或者两臂三手协同移栽机械手。具体的实现见工作原理。4、缓冲机构与缓冲措施是保证机械手平稳运动的必要前提，气缸运动速度的变化产生惯性力，而惯性力会降低机械手末端的工作精度，两机械臂垂直气缸由于行程较短采用内部有缓冲的气缸来实现，水平气缸由于行程较长，速度较快除了由气缸内部本身来保证缓冲外，还应该设置缓冲回路，增加缓冲的可靠性。

3.1.2.2 机械手的工作原理

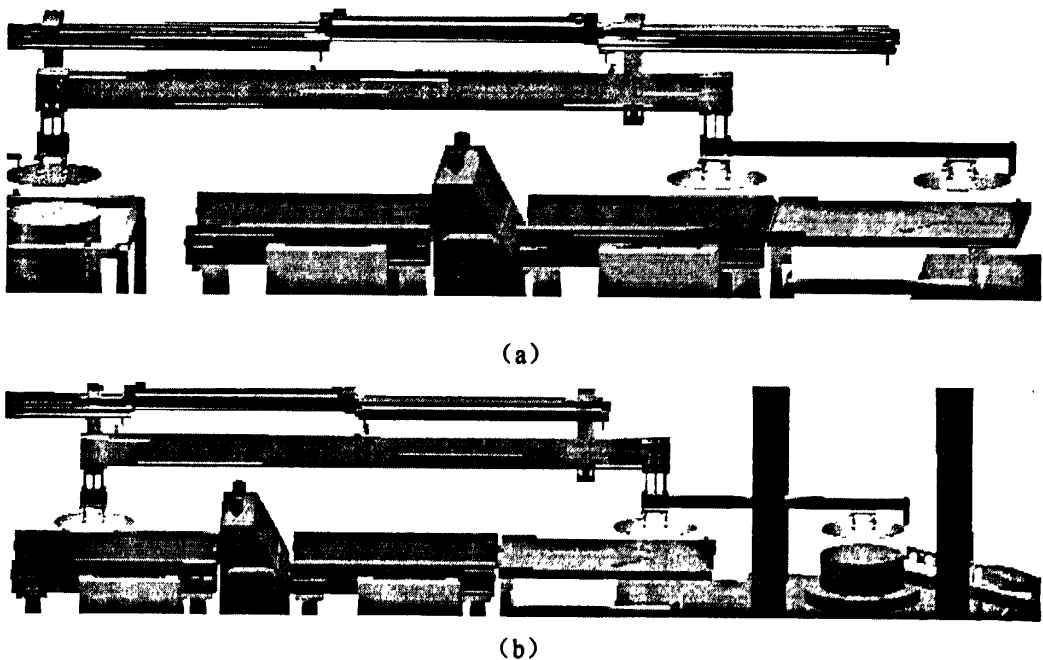


图 3-4 机械手工作原理

Fig.3-4 Working principle of manipulator

工作原理图（3-4）当起边机构完成起边后，机械手中驱动左右机械臂的两导杆

气缸同时上腔进气并向下运动,都运动至行程终止时发出电信号使真空发生器打开,吸盘内产生负压,吸起圆片(左臂吸盘组吸起由起边机构起边后的圆片;右臂吸盘组 I 吸起经涂油后的输送机上的圆片;而右臂吸盘组 II 吸起经过定心后的圆片),确定所有吸盘组都已吸住圆片后两导杆气缸下腔进气,使左右两机械臂同时向上运动,运动到上行程终点时(a),发点电信号,水平气缸向右运动,通过两滑块、联接板使左右两机械手臂也向右运动,行程终点时(b),左右两机械臂同时向下运动,把各吸盘组所吸起的气缸放在指定的位置(左机械臂吸盘组把圆片放在输送机上;右机械臂吸盘组 I 把圆片放在定心装置上;右机械臂吸盘组 II 把圆片放在冲床上冲压模具的中心),真空泵关闭,圆片落在指定位置。机械手反向运动,至初始位置,准备下一个循环。

总结以上如下:由双臂协同移栽机械手左手臂抓取物料送往涂油机的同时,右手臂从后续的定位机构中抓取经过涂油后定位的物料送往冲压模具。

3.1.3 机械手的具体零部件的选择与结构设计

3.1.3.1 直线导轨副的选择

1、机械手对直线导轨副的要求

- (1) 可靠性高;
- (2) 对安装面要求较低;
- (3) 受力方向较多,要求能够承受 3 个方向的负荷,以及两个方向的转矩;
- (4) 为了保证机械手能把圆片准确放入冲压模具的中心,定位精度要求较高;
- (5) 尽量降低成本,减少导轨维护的难度,提高导轨的使用寿命。

2、直线导轨的选用方法。直线导轨副具有承载能力大、接触刚性高、可靠性高等特点,主要在机床的床身、工作台导轨和立柱上、下升降导轨上使用。我们在选用时可以根据负荷大小,受载荷的方向、冲击和振动大小等多种情况来选择。

(1) 根据直线导轨副的受力方向:由于滚动直线导轨副的滑块与导轨上通常有 4 列圆弧滚道,因此能承受 4 个方向的负荷和翻转力矩。滚动直线导轨副承受能力会随滚道中心距增大而加大。

(2) 根据滚动直线导轨副的负荷大小:不同规格有着不同的承载能力,可根据承受负荷大小选择。为使每副滚动直线导轨都有比较理想的使用寿命,可根据所选厂家提供的近似公式计算额定寿命和额定小时寿命,以便给定合理的维修和更换周

期。还需要考虑滑块承受载荷之后, 滑块滚动阻力的影响, 最好要进行滚动阻力的计算, 以便 确定合理的驱动力。

(3) 预加负载的选择: 根据设计结构的冲击、振动情况以及精度要求, 选择合适的预压值。^[11]

3.1.3.2 各气缸型号的确定^[12, 13]

速度为 50~500mm/s, 因此负载率均取 0.5。

1、水平气缸

安装导轨之后气缸径向力由安装导轨的 4040 铝型材来承受, 而气缸活塞杆所受的径向力可以忽略, 而简化为只受轴向力, 根据负载状态与负载力的关系, 要知该轴向力为摩擦力, 因此选用单杆双作用的普通标准气缸。

轴向力及缸径的计算:

$$F = \mu \cdot W \quad (3.1)$$

μ : 导轨的摩擦系数, 取 0.1。

W : 垂直于导轨面的所有物体的重力

在该生产线上料系统中, 导轨所受的 W 的内容包括两垂直气缸、一根 2M 的 3090 型铝型材(3.25kg/m), 一根 700mm 的 3030 型铝型材(1.22kg/m), 3 块真空吸盘安装板(铝), 12 个真空吸盘, 通过计算重力 G 为 100N, 则气缸输出的轴向力 F 为 10N, 气缸的理论输出力 F_0 为 20N。

单杆双作用标准气缸的缸径计算公式为:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times F_0}{\pi \times p}} \quad (3.2)$$

p : 气压系统的使用压力, 0.6MPa

求得 $D=6.52\text{mm}$

行程的确定:

根据实际情况取 600mm。

由于缸径太小, 而行程过长, 因此为配合 600mm 的行程, 经综合考虑取缸径为 50mm。但是缸径越大, 在进气量及管道直径不变的情况下, 气缸活塞的移动速度会越低; 气缸行程越大, 在一定的时间内, 加速度也会越大。因此在现场调试一定要严格控制速度与加速度的影响。

具体型号: MDBKL50-600-A67

2、左、右垂直气缸

根据上图 3-3，可分析得：左臂气缸只承受轴向力，而右臂垂直气缸由于一组吸盘伸出，除有轴向力，还有径向力及弯矩，因此确定左右气缸都选导杆气缸，利用导杆来承受一定的径向力和弯矩。

导杆气缸缸径的确定应该根据气缸的安装方式、导向轴承形式、气缸行程、气缸的最大速度、负载质量以及及安装偏心距来预选。两气缸均安装在联接板上，且是气缸导杆的运动方向和受力的运动方向均垂直于地面，为垂直安装；导向轴承形式是指导杆的支承形式，由于右臂气缸横向负载较大，且具有较大的偏心距，因此选滑动轴承式。最大速度根据平均速度增加 20%计算。行程控制采用磁性开关，能过磁性开关来检测活塞的位置，并且可以在气缸行程内改变磁性开头的位置来改变气缸的实际行程，又为了便于布线采用插座式的有触点磁性开关。

表 3-1 左、右臂气缸型号的确定

Table3-1 Lift、Right arm air cylinder type

	左臂气缸	右臂气缸
安装方式	垂直安装	垂直安装
导向轴承形式	滑动轴承式	滑动轴承式
气缸行程	50mm	50mm
气缸的最大速度	180mm/s	180mm/s
负载	6.44N	28.88N
所受弯矩	0	8.664N·M
具体型号	MGPM20-50-Z76	MGPM50-50-Z76

3、真空吸盘组的选择

圆片为圆片薄板；表面平坦；无通气性；在受力不大的情况下，不会发生变形；起吊方向为水平起吊。

选用标准型真空发生器，最大的真空度为 88kPa。

吸盘直径 D 的计算

$$D \geq \sqrt{\frac{4W \cdot t}{\pi \cdot n \cdot p}}$$

(3.3)

D:吸盘直径; W: 吸吊物重力; t: 安全率, 水平吊时 t 大于等于 4, 垂直吊时大于等于 8; p: 吸盘内的真空度, MPa; n: 为吸盘的个数。

已知圆片重 $W=8N$, 根据上式求得吸盘直径 $D=10.7mm$, 取真空吸盘的直径为 $20mm$, 因此所需的真空度为 $p=0.0603MPa$, 选用标准型真空发生器, 其最大真空度 $p_v=88KPa$ 。因 $p/p_v=0.6849$, 可得 $T=1.2T_1$, 应使机械手吸着响应时间不高于 $1s$, 吸附容积大约为 $0.1L$, 则求得平均吸入流量 $q_v=10.575L/min(AND)$, 因此平均吸入流量 $q_{v1}=10.575L/min(AND)$ 。

选系数 $C_q=1/2$, 则真空发生器的最大吸入流量 $q_{ve}=21.15L/min(AND)$, 选喷管喉部直径为 $1mm$ 的 ZH10BS 真空发生器, 其极限吸入流量为 $24L/min(AND)$ 。故实际吸着响应时间 $T=0.705s$ 。

3.1.3.3 可调结构设计

在首次安装调试或维修后的调试时, 为了适应起边机构起边的高度, 使移栽机械手吸盘组能够顺利吸起起边后的圆片, 并顺利实现移栽; 又由于定心装置和冲床的位置一经固定, 难以改变, 只能通过调节机械手的位置来实现圆片从定心装置转移至冲床模具中心时的准确。因此机械手必须设计成可调结构。

水平方向的调节: 该移栽机械手水平方向的调节可以通过气缸杆与滑块之间的螺纹旋合长度或者改变气缸上两磁性开关来调整气缸的行程从而实现水平方向的调节。

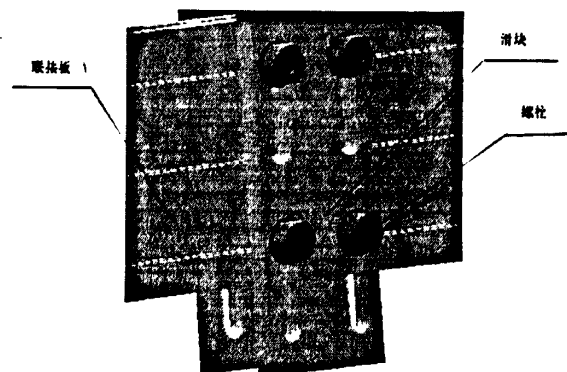
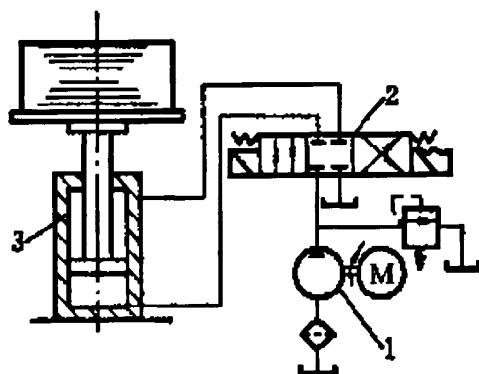


图 3-5 垂直方向的调节

Fig. 3-5 Adjustment of vertical direction

垂直方向的调节: 原理图如图 3-5 所示, 通过松开和拧紧螺栓来改变联接板与滑块的相对位置, 实现移栽机械手垂直方向的调节。微调可以能过调节吸盘的安装螺母来实现。

3.2 提升机的设计与分析



1、液压泵 2、电磁阀 3、油缸

图 3-6 液压顶料装置

Fig. 3-6 Hydraulic device of making materials up

由于起边气缸的行程和吸盘的伸缩量有限，随着时间的推移，圆片堆的高度逐渐减小，吸盘与圆片堆顶部将产生高度差，吸盘很难再吸起工件。当提升机上圆片的数量为零时，要使提升装置运动到适合加料的位置并发出加料提醒信号。为保持圆片处在一定的高度，该系统设置有顶料机构，常见的有机械式提升机构和提升机构两种。机械式顶料机构由电动机带动蜗轮蜗杆将料架提升。当需要提升时，信号使机构动作。液压式顶料机构如图 3-6 所示，当材料需要提升时，液压泵与油缸之间的电磁阀动作，使压力油进入油缸下腔，将材料顶升^[14]。虽然液压顶料装置运动平稳，承载能力大且易实现过载保护，但是液压元件制造精度较高，受油温影响大，且混入空气易影响较大的振动和噪声。

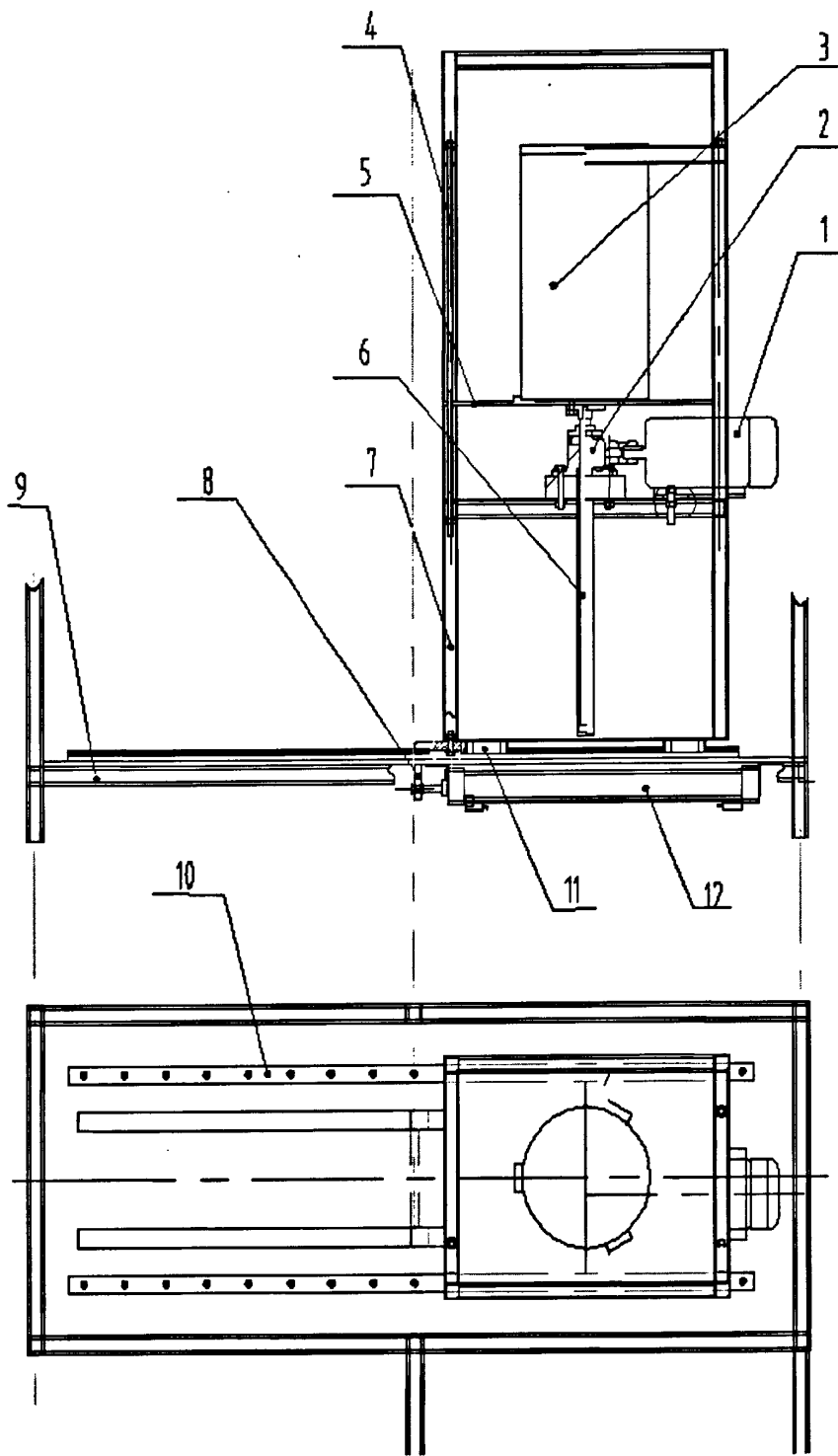
3.2.1 提升机的基本结构设计

提升机（基本结构如图 3-7 所示）由两大部分构成，提升装置和补料装置。

提升装置由以下四部分组成：（1）动力部分，由普通三相交流异步电动机组织，为整个装置提供动力来源；（2）传动部分，由蜗轮蜗杆传动副以及丝杆副共同组成，实现动力的传动；（3）支撑部分，由钢板与方管焊接而成的提升架组成，对传动部分和动力部分进行支撑；（4）辅助部分，由导向杆和两个光电传感组成，光电传感器安装在导向杆上，两光电传感器之间的距离，为起边吸盘能够安全可靠的吸起圆片并能由机械手可靠运走的距离，该距离由吸盘的伸缩量决定，实现圆片堆上下运

动的导向及自动控制。

补料装置由传动板 8、上料架 9、导轨 10、滑块 11、补料气缸 12 组成，动力由补料气缸提供，通过脚座与上料架想联，利用气缸杆上的螺纹，采用双螺母夹紧的形式与传动板联接，传动板的另一端用螺栓与提升机架联接，在上料架的槽内滑动，把补料气缸的动力传递给提升装置，直线导轨安装上料架（由方钢与钢板焊接而成）上，通过滑块来支承提升装置，同时减小提升装置运动时的摩擦。



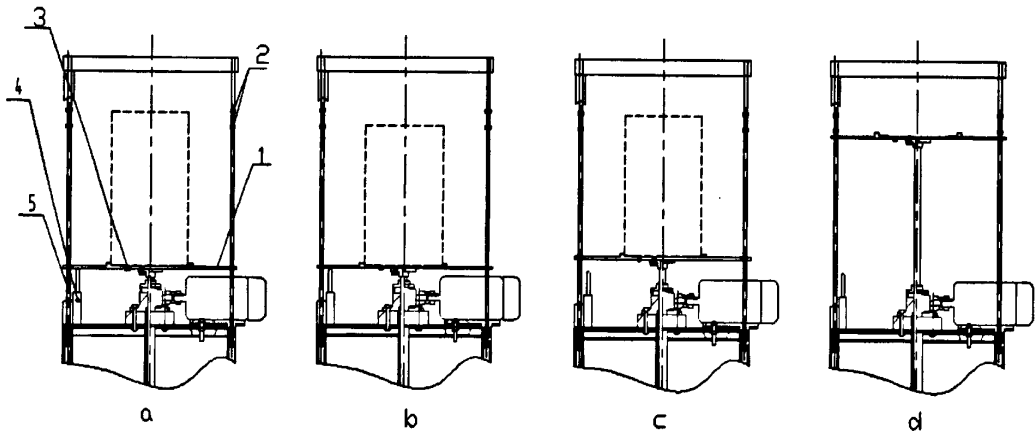
1、电机 2、蜗轮蜗杆传动副 3、圆片堆 4、导向杆 5、顶料板 6、丝杆
7、提升机架 8、传动板 9、上料架 10、导轨 11、滑块 12 补料气缸

图 3-7 提升机

Fig. 3-7 Elevator

3.2.2 提升机的工作原理

由电动机输出的动力经两端的蜗轮蜗杆减速器减速后，经与减速器相联的丝杆副，丝杆转动的同时使丝杆螺母推动顶料板上下运动，从顶起顶料板的圆片堆，实现物料的提升。检测设备包括：三个光电传感器、一个行程开关。其中两对射式光电传感器用来检测物料的位置，一个光电传感器用来检测物料的状态，行程开关作行程原点控制。



1、顶料板 2、上下两对射式光电传感器 3、光电传感器
4、行程开关 5、导向杆

图 3-8 提升机运动过程

Fig. 3-8 Elevator's movement process

具体工作过程如图 3-8 所示，工作开始时，光电传感器 3 开始检测，若检测到提升机上有圆片存在，则下对射式传感器检测圆片是否到位，当下对射式传感器能够检测到圆片时（提升机状态如 a），发出电信号，提升机进入等待状态，同时使起边机构、机械手、输送机等开始运动，每进行完一个循环，提升机上的圆片少一块，而经冲压出的冲压件则多一件，每一个循环开始时都对光电传感器以及下对射式传感器进行检测，随着时间的推移，经起边机构、机械手及冲床所形成的冲压件越来越多，而圆片堆中的圆片数量会越来越，圆片堆的高度会逐渐降低；当圆片堆的高度减少到如 b 状态所示时，此时下光电传感器已无法检测到圆片，发出控制信号，使电机正转，提升圆片堆向上运动；当运动到如 c 状态所示时，上对射式传感器能够检测到圆片，同时发出控制信号，使电机停止转动。依次重复 b, c 两种状

态,直到光电传感器 3 检测到没有圆片存在时(如状态 d),电机反向转动,运动行程直到顶料板碰到下行程开关,此时补料装置开始动作,补料气缸活塞杆伸出,通过传动板,使提升装置和气缸活塞杆一起运动,直到气缸运动到行程终止,发出换料信号,提醒工作人员换料。

3.2.3 提升机的具体设计

3.2.3.1 传动板结构

传动板的结构在整体装配图中看得不清晰,单独给出,上面 8 个孔用于与提升机构联接,下面的孔用于与气缸活塞杆相联。

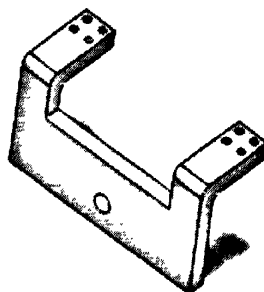


图 3-9 传动板

Fig.3-9 Transmission board

3.2.3.2 补料气缸的选择

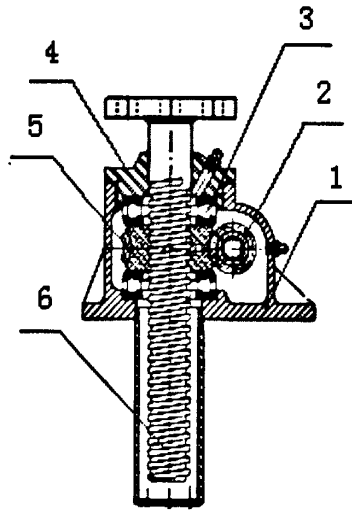
补料气缸安装在提升机的底部,径向载荷由导轨和上料架,径向载茶为 2KN,导轨的摩擦系数为 0.01,则补料气缸所受的力根据式 3.1 计算得 20N,由于的升机较高,速度不应该过快,平均控制在 200mm/s 左右,则理论输出力为 40N,根据式 3.2 得气缸直径为 9.21mm,行程较长,取 50mm,行程由磁性开关控制,具体型号为:MDBKL50-500-A67。

3.2.3.3 提升机的具体设计计算

在由蜗轮蜗杆传动和螺旋传动共同组成的螺旋提升机构中(如图 3-10),蜗轮与丝杆螺母做成一体,蜗轮两端采用推力滚子轴承进行轴向定位。丝杆随蜗轮的转动而上下运动。

在蜗杆条数和模数一定的情况下,传动比大,蜗轮尺寸也越大。而蜗杆条数越

多，螺旋升降机的传动效率也越高，在模数和传动比一定的情况下，蜗轮的尺寸也越大。若蜗轮尺寸增大，则轴承的直径也要有所增加。因此在尽量减小蜗轮尺寸的情况下，提高提升机的传效率。综合考虑取 $i=5$ ，蜗杆条数 $Z_1=6$ 。若电机转速为 1450r/min ，经蜗轮蜗杆传动后的转速为 290r/min ，则要达到提升速度为 0.5m/min 的速度，丝杆的导程 $P_h=1.7\text{mm}$ ，导程太小丝杆的的承载能力减弱，并且用于传动的丝杆难于加工。因此重新确定电机转速为 1450r/min ，但自带 $3:1$ 的减速器，此时 $P_h=5.1$ ，取标准值 $P_h=5\text{mm}$ 。



1、机座 2、蜗杆 3、推力圆锥滚子轴承 4、轴承盖 5、蜗轮 6、丝杆

图 3-10 螺旋提升机构

Fig.3-10 Spiral promotion mechanism

1、电机的选择计算

- (1) 根据要求可得总轴向载荷 F 为 1.764KN ;
- (2) 电机需要的输出转速 $n_1=500\text{r/min}$;
- (3) 电机所需功率^[15]

$$P_m = \frac{F \times v}{60000 \times \eta} = \frac{F \times v}{60000 \times \eta_1 \times \eta_2} \quad (3.4)$$

η ：总效率

η_1 ：滑动丝杆副的效率，取 0.35

η_2 ：蜗轮蜗杆传动的效率，取 0.9

求得 $P_m = 0.05KW$

(4) 运行转矩 $T_{ino}^{[15]}$

$$T_{ino} = \frac{P_m \times 9550}{n_1} \quad (3.5)$$

计算得 $T_{ino} = 0.96NM$

(5) 启动转矩 $T_{ins}^{[15]}$

$$T_{ins} = \frac{F \times P_h}{2 \times \pi \times i \times \eta} \quad (3.6)$$

求得: $T_{ins} = 1.2NM$

根据以上计算确定电机为: 0.55KW, 4 级, $n_0 = 1450r/min$, 普通交流异步电机, 自带 $i_1 = 3:1$ 的减速器

2、梯形丝杆副的设计

(1) 丝杆副导程的确定

$$P_h = \frac{v \times i_{\Sigma}}{n_0} = \frac{v \times i \times i_2}{n_0} = \frac{0.5 \times 5 \times 3 \times 1000}{1450} = 5.1mm \quad (3.7)$$

式中: v : 物料移动速度 m/min

i_{Σ} : 系统的总传动比。

取标准导程 $P_h = 5mm$

(2) 螺纹中径^[15]

$$d_2 = 0.8 \times \sqrt{\frac{F}{\varphi \times [p]}} \quad (3.8)$$

式中: F : 螺杆的轴向力, N ;

$[p]$: 材料的许用压力, MPa ;

螺杆的材料为钢, 螺母的材料为青铜, 许用压力值取 $10MPa$ 。

φ : 整体式螺母取 $1.2 \sim 2.5$, 剖分式螺母取 $2.5 \sim 3.5$

此处取 $\varphi = 2$ 。

求得 $d_2 = 10mm$, 取公称直径 $d_0 = 20mm$

得实际 $d_2 = d_0 - 2.5 = 17.5mm > 10mm$

由于该丝杆传动的长径比大且受力为压力, 当轴向压力 F 大于某一临界值时, 丝杆就会突然发生侧向弯曲而丧失其稳定性。因此应该根据螺杆稳定性来效核直径

是否能满足要求:

根据欧拉公式^[16]:

$$F_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_a}{(\mu \cdot l)^2} \quad (3.9)$$

F_c : 临界载荷 (N)

l : 螺杆的最大工作长度 (mm)

I_a : 螺杆危险截面的轴惯性矩 (mm^4)

E : 螺杆材料的弹性模量 (MPa) 钢取 200GPa

μ : 长度系数, 根据该提升机分析得出为一端固定, 一端自由的形式, 得 $\mu=2$ 。

根据欧拉公式的适用范围: $\lambda \geq \lambda_1, \lambda = \mu \cdot l / i, i = d_2 / 4, \lambda_1 = \sqrt{\pi^2 \cdot E / \sigma_p}$ 此丝杆的 $\lambda=206$, 而 $\lambda_1=100$, 因此可以采用欧拉公式: $I_a = \pi d_1^4 / 64 = 3.14 \times 18.5^4 / 64 = 0.6 \times 10^{-8} \text{m}^4$, 因此 $F_c=12\text{KN}$, 而外载荷 $F=1.864\text{KN}$, 因此丝杆公称直径为 20mm 完全能满足要求。

(3) 螺母高度 (蜗轮厚度) $H=35\text{mm}$;

(4) 旋合圈数 $Z=7$;

(5) 行程 L 计算

$$L = (1.1 \sim 1.2) \times L_0 + (10 \sim 14) \times p_h \quad (3.10)$$

$L=545\text{mm}$

(6) 验算自锁

$$\psi = \tan^{-1} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} \leq \rho' \quad (3.11)$$

满足要求。

3、普通圆柱蜗轮蜗杆传动设计

模数和分度圆直径的确定

根据上面分析可知: $i=5, z_1=6$, 则 $z_2=30$ 。

该普通圆柱蜗轮蜗杆传动为闭式传动, 主要的失效形式为齿面接触强度。

根据齿面接触强度设计公式^[11]:

$$m^2 d_1 \geq \left(\frac{15000}{\sigma_{HP} \cdot Z_2} \right)^2 K T_2 \quad (3.12)$$

式中： T_2 ：作用于蜗轮轴上的名义转矩（NM）

K ：载荷系数，一般取 $K=1\sim1.4$ ，此处取 1.4

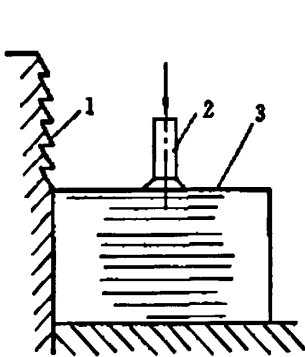
σ_{HP} ：许用接触应力，根据速度 0.5mm/min ，取 140N/mm^2

得 $m=2\text{mm}$ ， $d_1=22.4$ ， $m^2d=89.6\text{mm}^3$ ，直径系数 $q=11.2$ ， $\gamma=28^\circ 10'43''$ 。

3.3 其他部件设计

3.3.1 起边机构

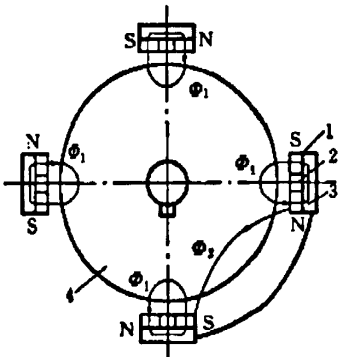
提升机上的圆片堆由于圆片与圆片间隙很小，而分子之间的吸附力，特别是当圆片表面有粘性液体存在时，圆片与圆片之间会很自然的吸附在一起，如果直接用机械手吸盘提取圆片，那么就会出现机械手一次抓起两片或者两片以上，有时候由于真空吸盘吸附力有限，而不能抓起工作。这两种现象将导致两种不同的结果，当机械手一次抓起一片以上的圆片时，最主要影响的是冲压模具的寿命或者使模具变形，从而损坏模具；当机械手不能抓起圆片时，将导致机械手产生误动作，而影响生产效率，严重时有可能导致事故的发生。



1、分料板 2、吸盘
3、板料图

3-11 齿形分料板分离装置

Fig.3-11 Tooth shape device of making metrical separate



1、恒磁铁氧体 2、隔磁体
3、导磁体 4、材料

图 3-12 磁性分离装置

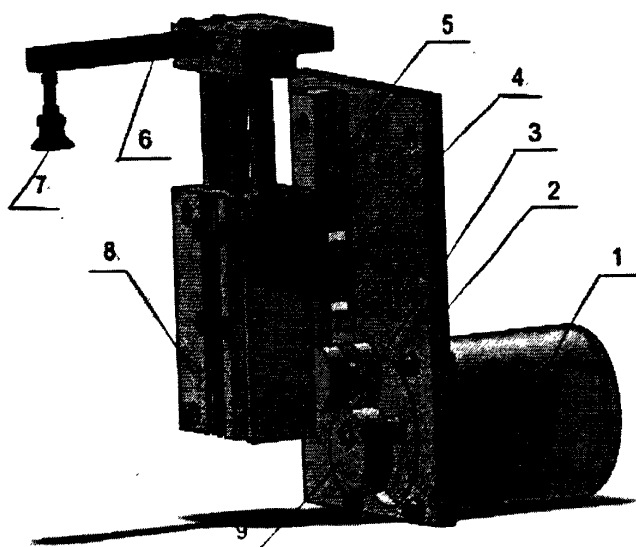
Fig.3-12 Magnetic device of making metrical separate

所谓起边就是致使圆片产生边缘凸起的现象，又称为分离。起边机构（分离机构）的作用就是为了解决机械手提取圆片时所产生的取走大于一片或者小

于一片时所产生的情况，提高冲压模具寿命，减少机械手误动作，同时减少事故的发生。

目前常用的板料分离装置有以下两种形式，图 3-11 所示为齿形分料板分离装置^[2]，板料紧靠在上部有齿的分料板 1 上，吸盘 2 将板料向上提升，如有两张以上的材料层叠被吸，则齿形分料板 1 会将叠料分开。这种装置结构简单，但可靠性较差。另一种为如图 3-12 所示的磁性分离装置^[2]，每组磁铁产生磁力线 $\square_1$ 和 $\square_2$ （其中 $\square_1$ 是主要的， $\square_2$ 由于有较长的空气磁路，强度大大削弱，可忽略不计），磁力线 $\square_1$ 方向由 N 极到 S 级，因相邻几片都通过同方向的磁力线 $\square_1$ ，根据“同向相斥，异向相吸”的原理，相邻的板料就相互排斥，层叠的几片就被分离，该方法叠片分离非常可靠，但较强的磁场会影响到其他易磁化设备的正常工作。

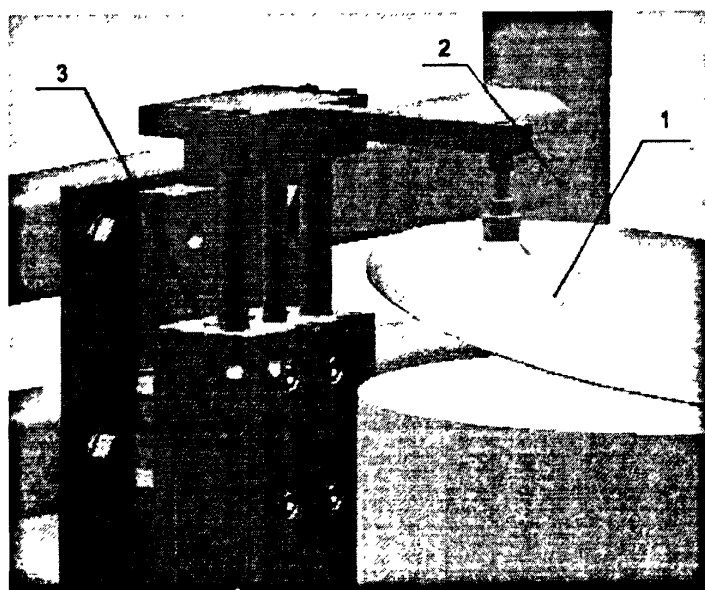
针对设计的不锈钢圆片上下料系统而言，以上两种方法都不适用，因为齿形分料板分离装置可靠性低，而磁性分离装置易使气动机械手各气缸中的磁性开关磁化。本自动上下料采用振动分离装置如图 3-13。振动分离装置可以应用于轻工业各种板片料的供料机构，可以输送较厚（如钢板、硬纸壳），同时适用于薄片料，分离运动的过程就是气缸上下运动与偏心轮的转动产生振动以及吸盘吸起工作的合成。根据工件重量采用合适真空度和气缸的缸径，解决吸力问题；同时采用偏心轮机构，电机带动偏心轮高速转动使起边气缸和吸盘同时产生高频振动，打开起边机构真空发生器，气缸带动吸盘上下降、上升，吸附、分离出最上层的圆片，达到有效分离板片目的。该装置结构简单，气源安全可靠，同时对工件无损害，可靠性高。



1、电机 2、安装板 3、滚子 4、滑块 5、导轨 6、传递杆
7、吸盘 8 起边气缸 9、偏心轮

图 3-13 振动分离装置

Fig.3-4 Vibrational device of making metrical separate



1、圆片 2、整装架 3、振动分离装置

图 3-14 分离后

Fig.3-14 After separating

工作原理：当接到起边信号后，气缸 8 活塞杆向下运动，经过传递杆 6 使真空吸盘也向下运动，当运动到气缸行程终点，此时吸盘已与提升机最上面的那片圆片接触，真空泵打开同时电机 1 开使转动，电机的动力经过偏心轮 9、滚子 3，使气缸 8 和吸盘 7 快速振动吸盘，气缸向上运动，气缸 8 向上的运动，行程终止后，电机 1 停止转动，起边完成(如图 3-14)，后续移栽机械手开始移栽圆片。

具体零部件的选择：

1、气缸的选择

对气缸的要求：启动速度要快，质量要轻，体积要小，因此首选类型为 CQ2 型紧凑型气缸。

(1) 缸径的计算

负载力 $F = \text{吸盘的重力} + \text{单圆片的重力} = 4\text{N} + 8\text{N} = 12\text{N}$

气缸的平均速度 $V = 50 \sim 500\text{mm/s}$ ，查表^[13]先负载率为 0.4。则理论输出力为 $12/0.4 = 30\text{N}$ 。

气缸直径 D 根据公式 3.2

计算得 $D = 9.8\text{mm}$

考虑起边时分子之间的吸附力较大，为保证起边顺利，并考虑安装螺纹与吸盘的配合， D 取标准值为 25mm 。

(2) 行程的选择

为了能与机械手很好的配合，根据标准行程表，又能起到起边的目的，取行程为 50mm

(3) 安装形式的选择

由于负载作垂直方向直线运动，并且考虑到便于与上下料架的安装，采用前法兰型安装。

(4) 缓冲的确定

为了减缓运动冲击，在活塞端部设置缓冲柱塞，在端盖上有开有相应的缓冲柱塞孔，并装上缓冲节流阀和缓冲密封圈，组成气缸的缓冲装置。

(5) 具体型号的确定

SMC 公司 MGPM25-50-Z76

2、真空吸盘与真空泵的选择

选用真空吸盘来完成起边，主要由于真空吸盘的作用决定的，它主要用于将表

面光滑且平整的工作吸起并保持住，柔软而且又有弹性的吸盘确保不会损坏工件，保证后续工作的顺利进行。

要求：吸着响应时间应尽量短，取 $T \leq 1s$ ，真空发生器至吸盘的配管容积 V 大约为 $0.1L$ 。

已知圆片重 $W=8N$ ，预选一个直径为 $25mm$ 的吸盘，选安全率 t 为 4 ，由上式得，所需真空度为 $p=0.0652MPa$ ，选用标准型真空发生器，其最大真空度 $p_v=88KPa$ 。因 $p/p_v=0.7408$ ，由图^[13]可得 $T=1.4T_1$ ，则求得平均吸入流量 $q_v=8.5L/min(AND)$ ，平均吸入流量 $q_{v1}=8.5L/min(AND)$ 。

选系数 $C_q=1/2$ ，则真空发生器的最大吸入流量 $q_{ve}=17L/min(AND)$ ，查图^[13]先喷管喉部直径为 $1mm$ 的 ZH10BS 真空发生器，其极限吸入流量为 $24L/min(AND)$ 。故实际吸着响应时间 $T=0.705s$ 。

ZH10BS 真空发生器的真空口连接管内径 $d=4mm$ ，若管长 $1m$ ，则查图连接管的有效面积 $S=6.7mm^2$ ，因此通过配管的平均吸入流量 $q_{v2}=37.2L/min$ ，此流量远大于能过真空发生器的平均吸入流量 $q_{v1}=8.5L/min$ ，故本联接管能满足吸着响应的时

间。

具体真空吸盘的确定：因为要求吸盘要有较好的弹性，又要有较强的耐磨性，使吸盘寿命较长，所以选择吸盘材料为丁腈橡胶（NBR）；又由于所吸起的圆片为薄型且易变形的工件，吸盘的形式选带肋平型（C）。因此具体的吸盘型号为 ZPR25CN-04-A6。

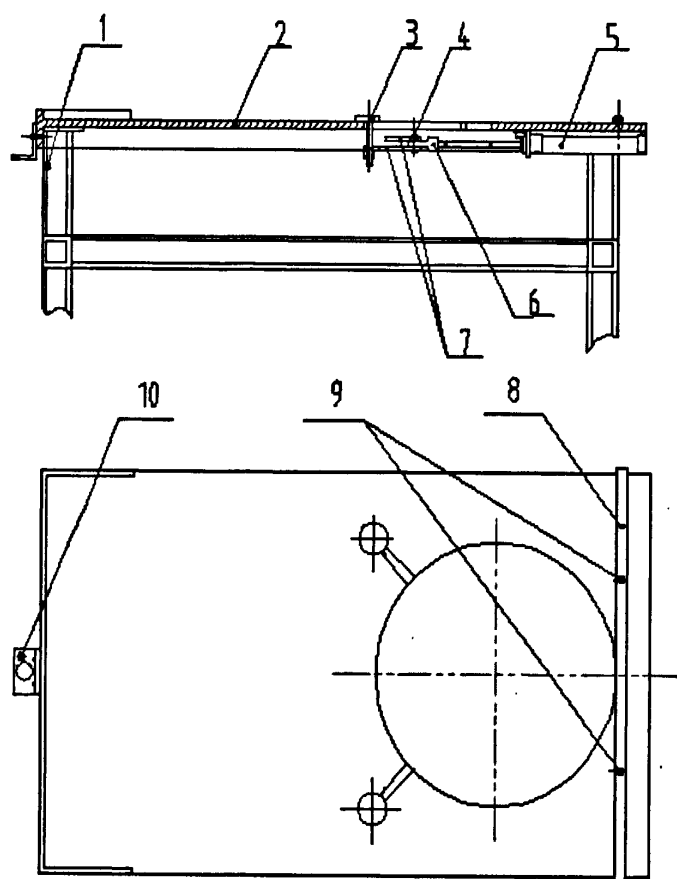
3.3.2 定心装置

所谓定心是指任何一个独立的旋转体，都有它自己的旋转中心线（称为轴心线）。而把两个以上的轴联接起来，让它们的轴心线同在一条线上（这条线是包含在一个垂直平面上的带有挠曲的自然挠度曲线）的工作^[17]。

冲压自动上下料系统的定心方式常见的有两种依靠冲压模具直接定心和设置定心装置定心，模具直接定心主要是靠圆锥面来定心，其缺点是：两中心的距离不能偏离较大，若两中心偏离较大则达不到定心的目的，且易损坏模具或者降低模具的使用寿命。而在圆片进入冲床前设置定心装置可以扩展圆片中心与模具中心的距离范围，使定心范围更广，同时使圆片进入冲压模具的过程为点对点的运动，运动过程更精确，更可靠。在本不锈钢锅冲压自动上下料系统中，由于涂油机、输送机

上振动等情况的存在,圆片在涂油机、输送机上运动的具体位置无法估计,圆片中心与模具中心的距离无法估计,且点对点之间的运动更可靠,更安全,因此该上下料系统必须单独设置定心装置,虽然成本有所增加,但可靠性与安全性都提高了。

为了使机械手抓起的圆片能准确无误地放入冲压模具的中心,提高模具的寿命以及整个不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的可靠性,更好的保护冲压模具,在经涂油之后进入冲压模具之前必须要设置一个定心的装置,该部件的设计要求是零件数量尽可能少,结构简单,安装方便,运行可靠,并且能准备地完成定心工作。



1、定心架 2、定心机构座 3、定心滑块 4、肘节接头用销 5、定心气缸
6、单肘接头 7、定心连杆 8、定心挡板 9、螺钉 10、传感器安装架

图 3-15 定心装置

Fig. 3-15 Centering device

设计的具体结构如 3-15 所示,该定心装置由定心气缸 5、定心滑块 3、机座 2、定心连杆 7、定心挡板 8、螺钉 9、接头 6、传感器安装架 10 以及销 4 组成。接头把两定心连杆与气缸联接起来,使定心连杆只能围绕销钉转动;定心滑块安装在定心

连杆的另一端，并且能够定心机构座的槽内滑动；用开口销进行定心连杆与定心滑块之间的轴向定位；定心挡板通过紧定螺钉安装在定心机构座上，松开紧定螺钉，挡板可以在机构座上滑动；传感器安装架来安装光电传感器，检测输送机输送过来的圆片是否到位。

工作原理：根据圆片的大小，通过调节紧定螺钉把定心挡板调到合适的位置，当机械手把圆片放上定心机构座上后，气缸活塞杆收缩，拖动定心连杆收缩的同时围绕销钉转动，安装在定心连杆另一端的定心滑块收缩同时在机构座的槽内滑动，当定心档块、两定心滑块同时接触圆片时，气缸进气腔内的气压会上升，当达到一定值后，气缸返回，完成定心。

该定心装置可以通过调定心挡板的位置来适应不同直径圆片的定心。

气缸的选择：

1、缸径的计算

圆片为 8N，刚对刚的摩擦系数为 0.12，因此总的负载力 $F=1N$ ，平均速度为 50~500mm/s，取负载系数为 0.5，则理论输出力 $F_0=2N$ ，根据式 3-1 可得气缸直径 $D\geq 2.54mm$ ，考虑由于拉延油的粘度较大，因此圆片经过涂油后，会使摩擦系数变大，摩擦力增大，为了定心机构能够安全可靠运行取 $D=16mm$ 。

2、行程的确定

根据圆片的直径 150~250mm，确定行程为 100mm

表 3-2 气缸以及与气缸联接零件的型号（SMC 公司）

Table3-2 The type of air cylinder and connection's parts

零（部）件	型号
气缸	CJ2L16-100 C73
脚座	CJ-L016B
安装用螺母	SNJ-016B
杆端螺母	NTJ-015A
I 型单肘接头	I-J016B
肘节接头用销	IY-J015

3.3.3 输送机

输送机是在一定的线路上连续输送物料的材料搬运机械，又称连续输送机。输送机可进行水平、倾斜和垂直输送，也可组成空间输送线路，输送线路一般是固定的。一般可以分为：带式输送机、螺旋输送机、斗式提升机。由于传送件为面积较大的固体件，选带式输送机^[18]。

带式输送机在我国已常用化，只需根据具体的基本参数就可以选用与购买。

3.3.3.1 带速的确定

由于输送的是圆柱型薄片，带速一般不超过 1.25m/s ^[19]，本设计根据 2.4.2 中分析，取带速为 1m/s 。

3.3.3.2 输送带的确定

该输送机的使用场合没有什么特殊要求，因此材料选最常用的橡胶带，实用且价格便宜；带宽由输送圆片的最大宽度来确定，取 300mm 。

3.3.3.3 传动部分的设计

1、电机的选择

使重为 8N 的圆片以 1m/s 的速度运动，无动力滚筒的传动效率为 0.94 ，链传动的传动效率为 0.95 ，电机功率应该为： 10W 。要使带速为 1m/s ，由于传送的物件较轻，而滚筒直径选 50mm ，则所需滚筒的转速为 382r/min 。

选中大电机厂生产的 $6\text{IK}140\text{GU-AF}$ ，并且频率为 50Hz ，带减速比为 3.6 ，齿轮箱型号为 $4\text{GN}3.6\text{K}$ ，经减速后得到输出转速为 417r/min 。

2、链传动设计^[11]

输送机的传动部件采用链传动，通过链传动把电机的动力传递给无动力滚筒，利用滚筒与带之间的摩擦力使安装带运动。链传动的失效形式主要有以下几种：链的疲劳破坏、链条铰链的磨损、链条铰链的胶合以及链条静力拉断。

该输送机所受载荷为平稳基本上冲击的载荷，根据以上失效形式设计该链传动。

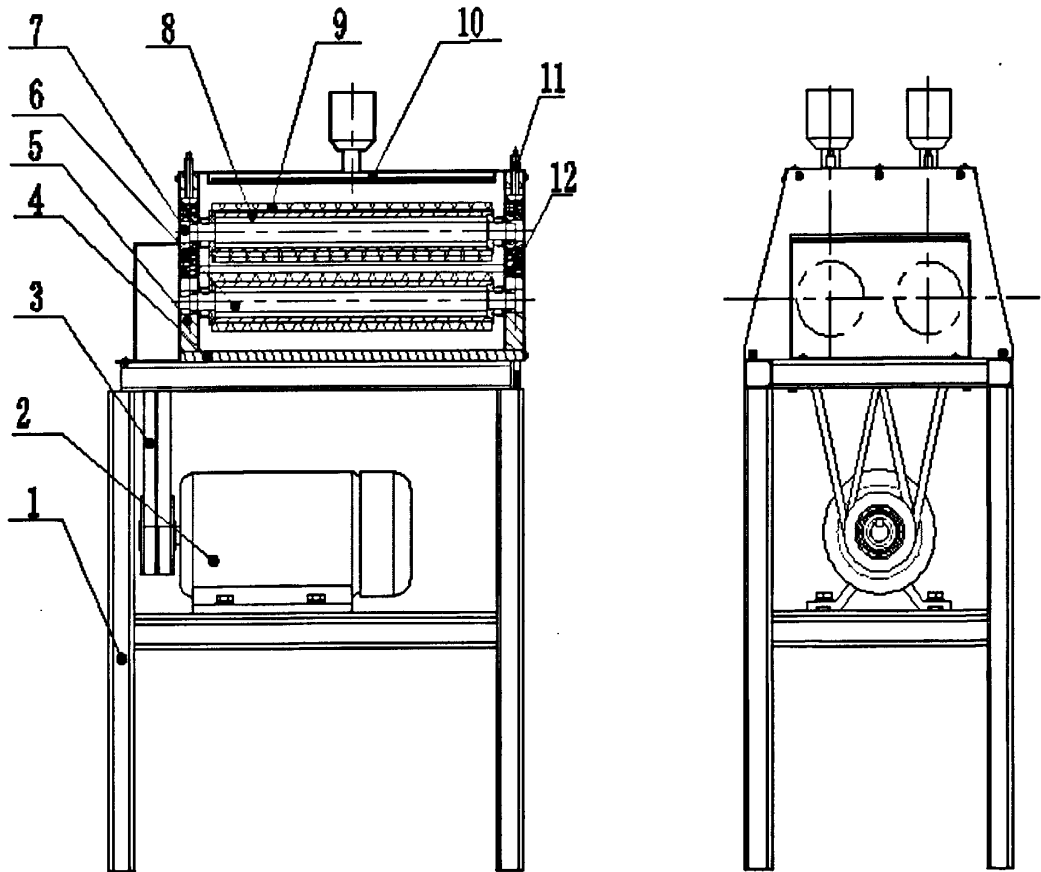
传递功率为 140W ，则计算功率为 140W ，由于传动功率不大且无冲击，链速也较慢，为了确保输送机整体尺寸不大，链轮齿数不宜过大，传动比为 1 的链传动，大小链轮的齿数都选 13 ，根据主链轮转速为 417r/min 以及功率 140W ，链号为 08A 的单排链，得链节距为 12.70mm 。

3.3.4 涂油机

在冲压成形中，尤其是在冲压成形拉伸工艺中，虽然导致成形不良的因素有很多，但拉伸油的选择与涂油条件就是作为成形失败的原因之一。

拉深加工使用拉伸油的目的，是为了在模具和板料之间形成牢固的、低摩擦的润滑膜，以防止两者直接接触，同时降低其摩擦力，尽可能减少摩擦造成的不良影响。具体地讲，就是提高成形极限，抑制工件破裂、减少因烧结、卡咬而产生的擦伤和起皱等不良后果，提高产品质量。另外，从模具角度考虑，抑制卡咬和磨损，也就延长了模具的寿命。

3.3.4.1 具体结构设计



1、涂油机架 2、电机 3、带传动副 4、底板 5、安装板 6、支承轴
7、调节块 8、套筒 9、羊毛筒 10、盖板 11、调节杆 12、弹簧

图 3-16 涂油机

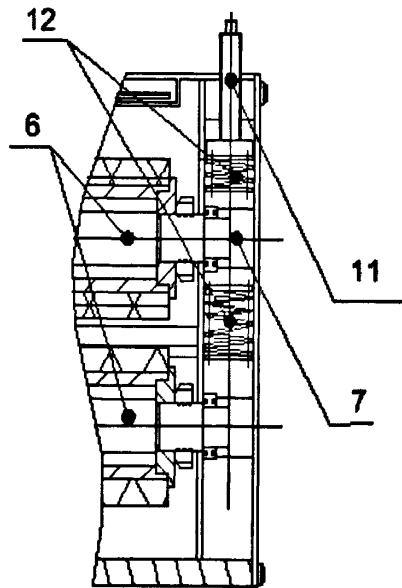
Fig.3-16 Greased machine

该上下料系统中圆片的涂油方式采用可调式自动滚筒双面涂油，涂油机具体结构如下图 3-16 所示，为了涂油更加可靠该涂油机采用两对羊毛滚筒组成，动力由电动机提供经带传动输送给两个下羊毛滚筒，两上羊毛轮的转动由圆片通过时产生的摩擦力而产生。

调节机构如图 3-17 所示由调节杆 11、调节块 7、支承轴 6、以及弹簧 12 组成。可调的实现则可调节涂油机顶部的四个调节杆来实现，通过旋转调节杆，来改变下部弹簧的压缩量，从而实现安装在调节块内部的羊毛滚筒的上下运动，来实现对不同厚度板材的涂油。

设计的羊毛滚筒由支承轴 6、套筒 8、羊毛筒 9 组成，而两端则由挡圈加圆螺母来实现套筒和羊毛筒在支承轴上的轴向固定。

盖板由储油筒、板料、和油管焊接而成，油管上开有很多槽，以便经油筒里流进油管的冲压油，能按一定流速滴到羊毛滚筒上，因此实现了羊毛滚筒上冲压油的自动供油。



6、支承轴 7、调节块 11、调节杆 12、弹簧

图 3-17 涂油机可调装置

Fig.3-17 Greased machine adjustable device

3.3.4.2 传动部分设计^[18]

1、电机的选择

使重为 8N 的圆片以 1m/s 的速度运动, 滚筒的传动效率为 0.94, 链传动的传动效率为 0.95, 电机功率应该为: 10W。要使带速为 1m/s, 由于传送的物件较轻, 而滚筒直径选 50mm, 则所需滚筒的转速为 382r/min。

选中大电机厂生产的 6IK140GU-AF, 并且频率为 50Hz, 带减速比为 3.6, 齿轮箱型号为 4GN3.6K, 经减速后得到输出转速为 417r/min。

2、涂油机带传动设计

涂油机的传动部分采用带传动, 以下是涂油机带传动的设计过程。

带传动的主要失效形式是打滑和传动带的疲劳破坏。

设计准则: 在不打滑的条件下, 具有一定的疲劳强度和寿命。

根据电机功率额定功率 $P=0.48\text{kw}$, 轻型输送机的工作情况系数 K_A 根据表^[11]得出取 1.1, 计算功率 $P_c=K_AP=1.1\times 0.48=0.5\text{KW}$; 根据计算功率 P_c 和小带轮转速 n_1 , 因为 $n_1=1450\text{r/min}$, 查图^[11]得: 选 A 型 V 带; 带轮直径愈小, 结构愈紧凑, 但带的弯曲应力增大, 寿命降低, 而且带的速度也降低, 单根带的基本额定功率减小, 所以小带轮的基准直径 d_{d1} 不宜选得太小, 取 $d_{d1}=75\text{mm}$, 根据传动比 $i=1$, 可知 $d_{d2}=75\text{mm}$; 由^[11]

$$v = \frac{\pi \cdot d_d \cdot n}{60 \times 1000} \quad (3.13)$$

来计算带的速度 v , 并满足 $5\text{ m/s} \leq v \leq v_{\max}$ 。对于普通 V 带, $v_{\max} = 25 \sim 30\text{ m/s}$; 对于窄 V 带, $v_{\max} = 35 \sim 40\text{ m/s}$ 。如 $v > v_{\max}$, 则离心力过大, 即应减小 d_{d1} ; 如 v 过小 ($v < 5\text{ m/s}$), 这将使所需的有效圆周力 F_e 大, 即所需带的根数过多, 于是带轮的宽度、轴径及轴承的尺寸都要随之增大, 故 v 过小时应增大 d_{d1} , 因此 $V=3.14 \times 75 \times 1450 \div (60 \times 1000) = 5.69\text{m/s}$ 。满足要求, 根据传动的结构需要按下式给定的范围初定中心距^[11] a_0 : $0.7(d_{d1}+d_{d2}) \leq a_0 \leq 2(d_{d1}+d_{d2})$, 根据现实条件: $105 \leq a_0 \leq 300$, 取 $a_0=250\text{mm}$, 则基准长度 $L_{d0}=735.5\text{mm}$, 取 $L_d=710\text{mm}$; 则带传动实际中心距 $a=237.25\text{mm}$, 考虑到安装调整和张紧的需要, 实际中心距的变动范围为 $a_{\min}=a-0.015L_d=226.6\text{mm}$, $a_{\max}=a+0.03L_d=271.3\text{mm}$; 预紧力大约为 32.24N。

3.3.5 下料架

如在冲压过程中下料方式有很多种: 采用机械手下料、机械下料等方式。但该

不锈钢锅底板自动冲压生产线上料系统中的下料方式采用移栽机械手转移圆片时顺便把已经冲压好的底板推上下料架。这种下料方式适合圆柱形零件的下料而且可靠性好，准确度高，下料效率也高，不会与上料机械手由于冲突而产生误动作。



1、传送带 2、滚筒梯 3、冲床 4、支架

图 3-18 下料架的布置

Fig.3-18 Unloading's shelf

下料架如图 3-18 由支架和滚筒梯组成，滚筒采用无动力滚筒，主要是依靠上料机械手的推力、锅体的重力、无动力滚筒的转动以及冲床与输送带之间的高度差来保证。

3.4 本章小结

本章对不锈钢锅冲压成形自动上下料系统中各部件的具体结构进行了优化设计，包括机械手、提升机、起边机构、定心装置、输送机、涂油机、以及下料装置，特别是机械手与提升机的结构进行了较为详细的设计计算；对各部件中的关键结构及主要零件进行了选择、计算与设计。

第四章 冲压上下料系统气动及真空系统设计

气缸作为该不锈钢锅冲压自动上下料系统中非常重要的执行元件, 气动系统是不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的基本组成部分之一, 它的性能、寿命及稳定性直接决定着生产线的工作性能和质量。

气压式执行元件是将压缩空气的压力能转换成为机械能的装置。具有代表性的气压执行元件有气缸、气压马达等。气缸能提供直线运动并做功, 而气压马达是利用压缩空气的能量实现旋转运动的机械^[12]。

在该气动系统中, 本文选用气缸元件只是为了提供一些短、中行程的直线距离传送与转移。

4.1 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的气压传动要求

1、无明显冲击存在, 加速度是产生冲击的主要原因, 只有控制速度平稳上升, 才能有效控制加速度, 控制冲击。

2、能够保证该冲压成形自动上下料系统正常、稳定、安全地运行, 气压系统的可靠、安全是前提, 行程较长的气缸要单独设计缓冲回路。

3、由于气体可压缩性的存在, 因此在设计气动系统时, 应该尽量减小由于气体压缩性所带来的影响。

4.2 气动系统设计

4.2.1 气压传动简介

以压缩气体为工作介质, 靠气体的压力传递动力或信息的流体传动。传递动力的系统是将压缩气体经由管道和控制阀输送给气动执行元件, 把压缩气体的压力能转换为机械能而做功; 传递信息的系统是利用气动逻辑元件或射流元件以实现逻辑运算等功能, 亦称气动控制系统^[20]。

气压传动的特点是: 工作压力低, 一般为 $0.3 \sim 0.8$ 兆帕, 工作介质是空气, 它取之不尽用之不竭, 用后的空气可以排到大气中去, 不会污染环境。且气体粘度小, 管道阻力损失小, 便于集中供气和中距离输送, 使用安全, 无爆炸和电击危险, 有过载保护能力; 但由于空气的可压缩性大, 气压传动系统的速度稳定性差, 给系统的速度和位置控制精度带来很大的影响; 气压传动速度低, 需要气源; 气压传动系

统的噪声大，尤其是排气时，需要加消音器^[21]。

气压传动由气源、气动执行元件、气动控制阀和气动辅件组成。气源一般由压缩机提供。气动执行元件把压缩气体的压力能转换为机械能，用来驱动工作部件，包括气缸和气动马达。气动控制阀用来调节气流的方向、压力和流量，相应地分为方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀。气动辅件包括：净化空气用的分水滤气器，改善空气润滑性能的油雾器，消除噪声的消声器，管子联接件等。在气压传动中还有用来感受和传递各种信息的气动传感器。

4.2.2 气动程序控制

程序控制也可称为顺序控制。它是预先确定的顺序或条件，逐步进行各个工步的控制。也就是根据生产工艺流程，对其控制对象按一定顺序进行控制的回路，叫做顺序控制回路，又称程序控制回路。它包括行程程序控制、时间程序控制和数字程序控制等^[22, 23]。

一个典型的气动程序控制系统如图

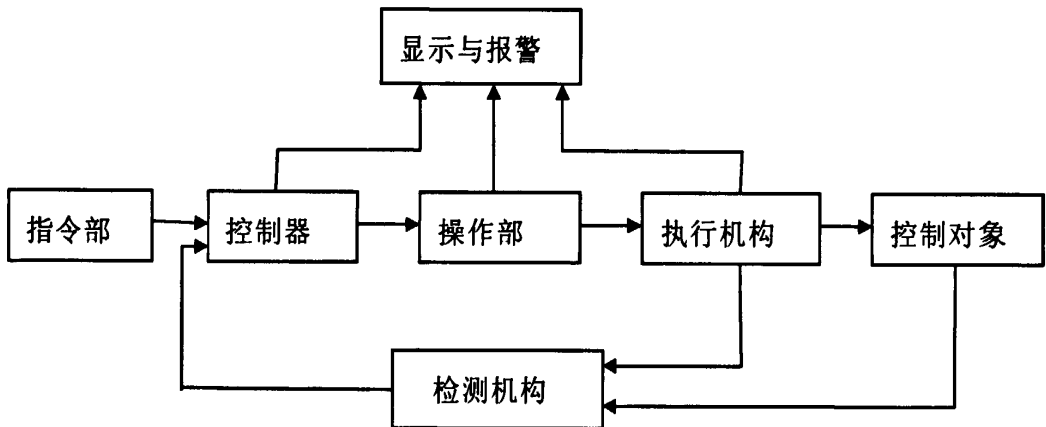


图 4-1 气动程序控制方框图

Fig.4-1 Charts of pneumatic control program

在气动顺序控制中，用得最广泛的是行程程序控制。以下就用行程程序控制来设计不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的气压传动回路。

4.2.3 气动系统设计

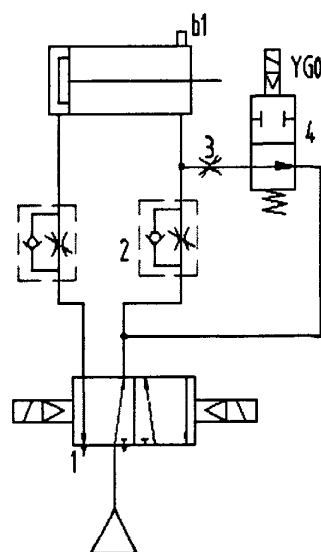
根据各气缸的选型及具体工作情况，采用磁性开关对各气缸的行程进行控制，该气动系统原理图如图 4-3 所示，A、B、C0、C1、D 均为直线气缸；a1、a0、b1、b0、c01、c00、c11、c10、d1、d0 为磁感应式接近开关；p2 为压力开关；YA0、YA1、

YB0、YB1、YC00、YC01、YC10、YC11、YD0、YD1 为 A、B、C0、C1、D 各直线气缸的控制信号。

在气动系统原理图中，压力控制回路由过滤器、减压阀、油雾器和气压表组成，为各气缸提供稳定的压力；速度调节采用由单向节流阀组成的排气节流回路来实现；方向控制采用的脉冲控制的两位五通的电磁换向阀，由于两位五通电磁换向阀具有记忆功能，只需要一个脉冲就可以使其换向，并将保持，直到反向的电磁阀得电，在选用时应该注意选能够后接排气节流阀的两五通电磁换向阀[24, 25]；短行程的气缸采用气缸本身的特殊结构来实现，而水平气缸气压支路中，由于气缸行程较长，速度较快，必须单独设计缓冲回路。该气压回路的缓冲实现采用行程终端缓冲的方法，如图 4-2 所示，阀 1 右位通电，气缸有杆腔的气体经阀 2 的节流阀和阀 4 从

阀 1 排气。调节节流阀 3 的开度，可改变活塞杆伸出速度。当活塞杆到达行程终点时，b1 发出信号，使 4 得电换向，通路被切断，有杆腔气体只能从阀 2 的节流阀排出。若阀 2 的节流阀开度很小，则有杆腔内压力急升，对活塞产生反向作用力，阻止活塞调速运动，从而达到在行程末端缓冲的目的。

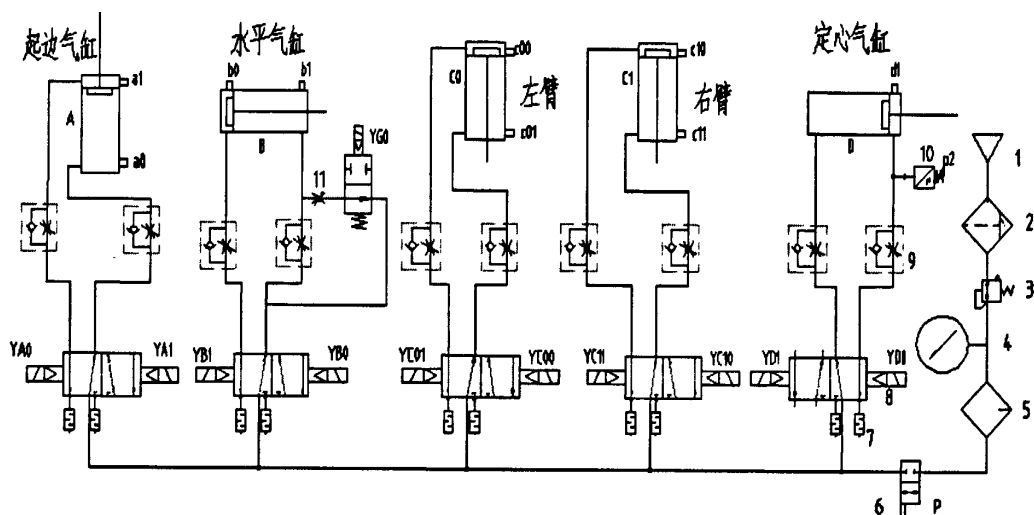
在定心机构的气动回路中，压力开关的作用是当气缸缩回时，检测气缸进气腔内的压力是否达到压力开关的预设值。当定心气缸有杆腔内压力达到压力开关的预设值时，说明圆片的定心到位，气缸活塞杆的伸出；而当气缸内压力稳定时，p2 不发出信号。压力开关应为可调式。



1、换向阀 2、调速阀
3、节流阀 4、换向阀

图 4-2 缓冲回路

Fig.4-2 Loop of buffer



- 1、气源 2、过滤器 3、减压阀 4、压力表 5、油雾器 6、手动换向阀
7、消声器 8、电磁换向阀 9、调速阀 10、可调压力开关 11、节流阀

图 4-3 气动控制原理图

Fig.4-3 Principle diagram of pneumatic control

4.2.4 气动系统的关键技术

气动系统的作用是供给一定压力的空气，控制各气缸按一定的运动顺序、一定的运动速度完成各气缸指定的工作。因此在设计及使用过程中应该注意以下几方面：

- 1、为了保证整个系统的安全性，只有在按下手动换向阀 P 的情况下，才能继续各气缸的运动；
- 2、应该保证气动系统压力的稳定；
- 3、由于空气的可压缩性，在换向阀另一方向得电之前，应该保证原气缸进气腔有持续、稳定的空气输入；
- 4、由于各气缸的运动速度要求相差较大，气压管路的长度也相差较大，采用出口节流调速回路，很方便地调整各气缸的运动速度。
- 5、行程较长，速度较快的气缸，设置了缓冲回路。

4.3 真空系统设计

4.3.1 真空系统简介

真空系统一般由真空泵（真空发生器）、真空电磁阀、真空检测器、真空管路、真空吸盘等组成。它是一般板料搬运设备的主要组成部分之一。真空发生器就是利用正压气源产生负压的一种新型、高效、清洁、经济、小型的真空元器件，这使得在有压

缩空气的地方,或在一个气动系统中同时需要正负压的地方获得负压变得十分容易和方便。真空发生器广泛应用于工业自动化中机械,通常与吸盘配合,进行各种物料的吸附,搬运,尤其适合于吸附易碎,柔软,薄的非铁,非金属材料或球型物体^[26]。

吸盘是一种用来抓取和握持工件的末端执行器,本冲压成形自动上下料系统的机械手用它来夹持、移动或放置工件。它属于无指夹持工件,其夹持方式为真空吸附式。由于吸盘的结构形式及采用橡胶制造,容许吸附作业具有一定的柔顺性,因此即使工件有一定的尺寸偏差和位置偏差也能被吸附和脱开^[27]。

4.3.2 真空系统具体设计

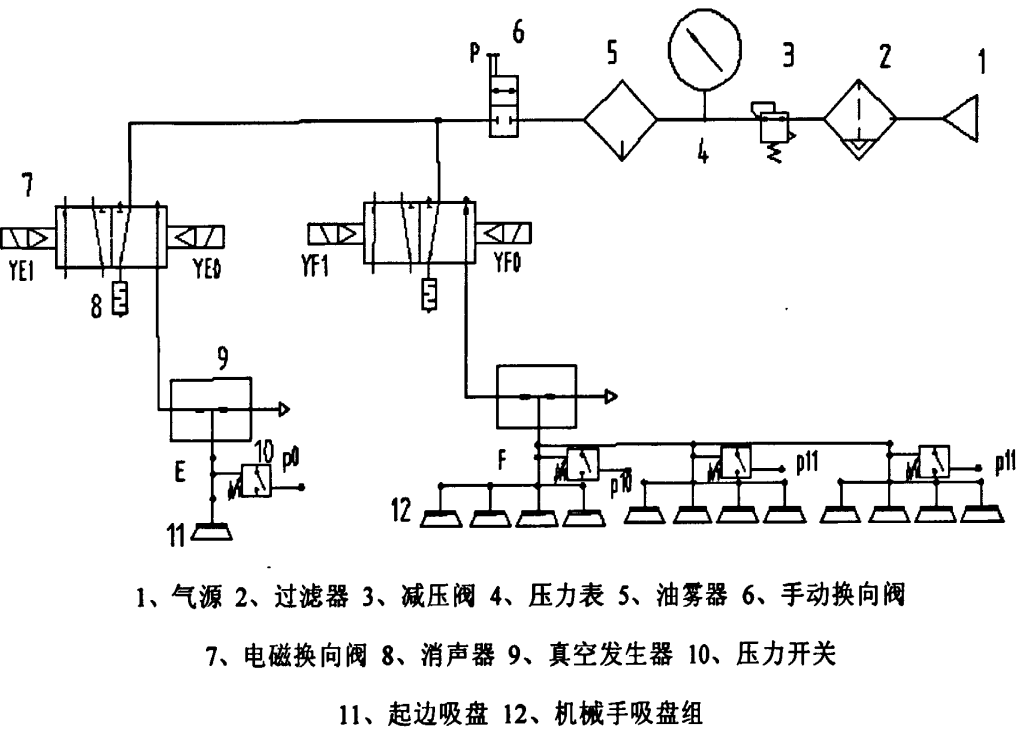


图 4-4 真空系统原理图

Fig.4-4 Principle diagram of vacuum system

在圆片的夹持与移动过程中,选用的是真空吸盘吸附的形式,因此在本系统中必须对真空系统进行设计,使机械手、起边机构等以吸盘为执行元件的部件能够安全、可靠运行。该真空系统由气源、过滤器、减压阀、油雾器、气压表、两位五通的真空电磁换向阀、真空发生器、真空压力开关、真空吸盘组成(原理图如 4-4)。真空发生器产生真空;通过真空压力开关来检测和吸盘及吸盘组的真空度;减压阀

用来设定整个真空系统的正压压力；YE0、YE1、YF0、YF1 分别真空系统中起边真空回路和机械手真空回路的换向信号。p0、p10、p11、p12 为真空压力开关，只有启动真空发生器同时使系统的真空度 p0、p1 达到设定值时，才进行下一动作，而未达到设定值时，即使真空发生器已启动也不进行后续动作，起到了安全保护作用。

4.3.3 真空系统的关键技术

气动真空系统的主要作用是吸附圆片，完成圆片的转移，因此工作过程的可靠性非常重要，应该给予足够的重视。概括起来应该注意以下几方面：1、要有足够的高压空气流量，保证空气连续且高速地通过真空发生器；2、必须保证气压回路压力的稳定；3、保证真空管路的密封性，保证被吸圆片的平整度；4、保证被吸圆片清洁度，防止杂物进入真空系统中，破坏真空元件，影响真空系统的正常运行；5、确定足够的圆片吸附时间，保证真空度。

4.4 气动系统与真空系统的整体分析

根据以上对气动系统及真空系统的分析，为了便于维护采用统一供气的原则，把气动系统与真空系统作为一个整体来看待^[28]。其组合原理图如下。

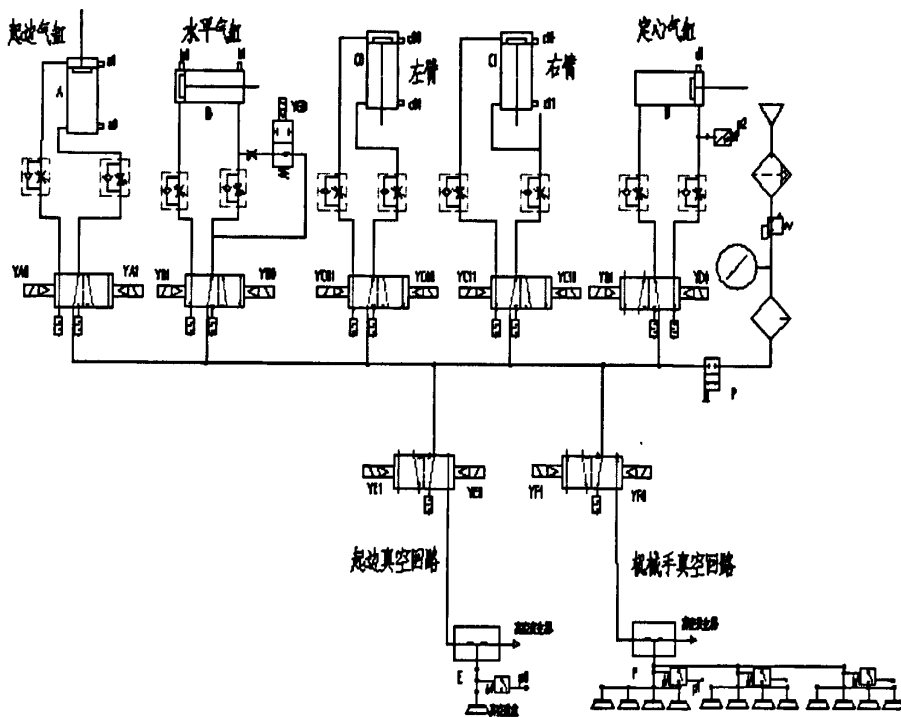


图 4-5 气动与真空系统组合原理图

Fig.4-5 Combination principle diagram of pneumatic and vacuum system

4.4.1 组合系统的工作流程及原理

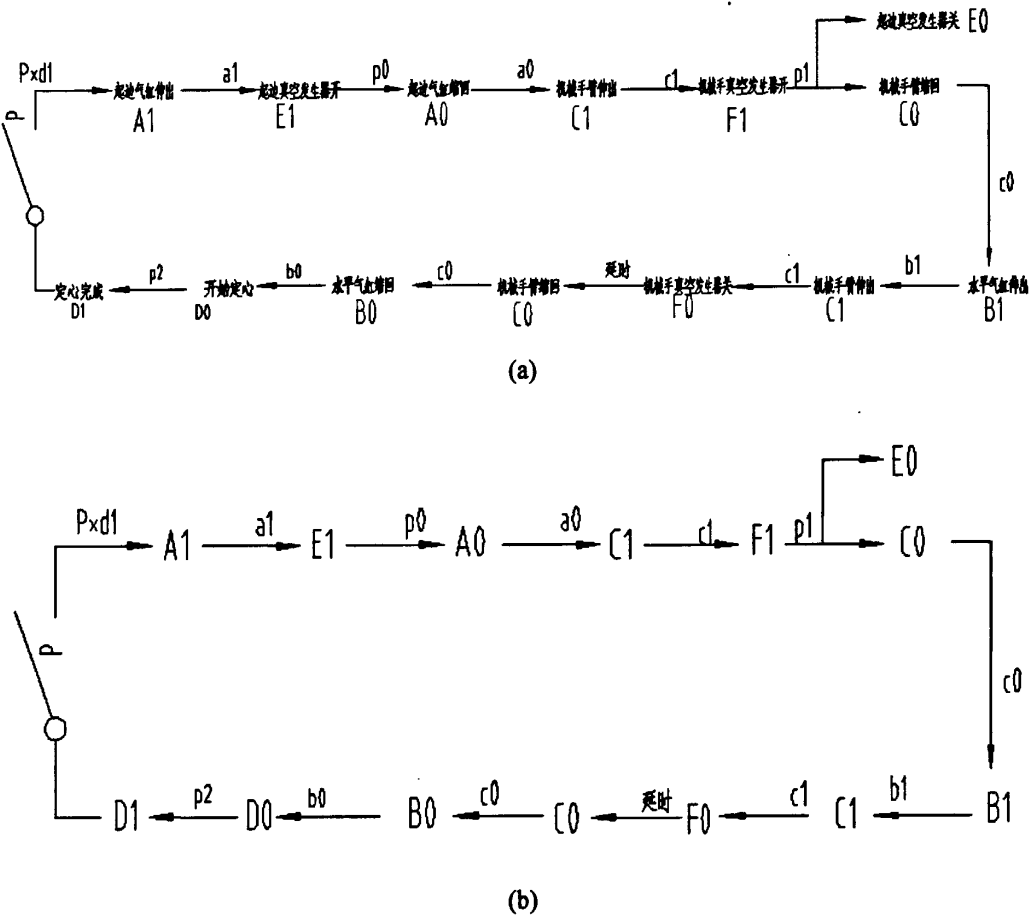


图 4-6 组合系统工作过程简图

Fig.4-6 Combination system working process diagram

用大写字母 A、B、C0、C1、D 分别表示起边气缸、水平气缸、左臂、右臂、定心气缸，用 E、F 则分别表示起边真空发生器和机械手吸盘组真空发生器，其中数字表示气缸活塞（真空发生器）的工作状态，1 表示伸出状态（开状态），0 表示缩回状态（关状态）；用小写字母 a1、a0、b1、b0、c11、c10、c01、c00、d1、e1、e0、f1、f0 表示由 A1、A0、B1、B0、C1、C0、D1、E1、E0 等动作触发的相对应的行程发信器及其输出信号；p0、p1 分别为起边真空回路和机械手真空回路中真空压力开关所发出的信号；p2 为压力传感器，检测气缸进气腔内的压力。

根据图 4-5、4-6 组合系统的工作过程：利用二位五通双向电磁换向阀的记忆功能，所有电磁阀均采用脉冲控制。按下启动按钮 P 后，使 YA1 得电，起边气缸缩回

准备起边,当到达行程终止时, a0 发出信号,使 YE1 得电,真空发生器开启,当起边真空回路达到真空压力开关 p0 的设定压力时,吸盘已吸好圆片, p0 发出电信号,使 YA0 通电,起边气缸伸出,到达下行程终点时,当检测到 a1 有信号输出时,起边过程完成, YC00, YC10 得电,两垂直气缸活塞杆伸出,当两气缸均运动到行程下止点时,当 c01、c11 同时有信号输出时, YF1 通电,机械手真空回路真空发生器开启,当达到真空压力开关 p1 设定压力时, p1 有信号输出,使 YE0 通电,起边吸盘松开圆片, YE0 通电的同时, YC01、YC11 均得电,两垂直气缸活塞杆收缩,当两垂直气缸都到达上止点时, c00、c10 发出信号,此时机械手完成抓起圆片过程, YB0 得电,水平气缸活塞伸出,开始移栽圆片,行程终止时, b1 有信号输出,再次使 YC00、YC10 同时通电,两垂直气缸同时向下运动,当 c01、c11 同时有信号输出时, YF0 得电,机械手松开圆片,完成移栽过程,当机械手内真空度低于设定值(通过延时开关来控制)时, YC01、YC11 同时得电,垂直气缸活塞收缩,当 c00、c10 都有信号输出时, YB1 通电,水平气缸活塞收缩;收缩到行程端点后, b0 有信号输出,定心机构开始运动(YD1 得电),当定心气缸有杆腔压力上升到压力传感器 p2 的设定值时, p2 有信号输出,使 YD0 得电;当定心气缸活塞伸出到达止点时(d1 有信号输出时),完成单个圆片的移栽过程,回到初始点,等待下一循环。

4.5 气动回路中和辅助元件的选择

4.5.1 各气缸耗气量的计算

气缸的耗气量可分成最大耗气量和平均耗气量。

最大耗气量是指气缸活塞以最大速度运动时,单位时间内所消耗的空气量(标准大气压状态下)。计算公式^[13]为:

$$q_r = 0.0462 \times D^2 \times u_m \times (p + 0.102) \quad (4.1)$$

q_r : 气缸的最大耗气量 L/min(AND);

D: 缸径, cm;

u_m : 气缸的最大速度, mm/s;

p: 使用压力, MPa。

平均耗气量是指气缸往复一个行程的情况下,气缸以及缸与换向阀之间的配管内所消耗的空气量(标准大气压状态下)。计算公式^[13]为:

$$q_{av} = 0.0157 \times (D^2 \times L + d^2 \times l_d) \times N \times (p + 0.102) \quad (4.2)$$

- 式中： q_{ca} ：气缸的平均耗气量
- N ：气缸的工作频度，即每分钟气缸内的往复周数，
一个往复为一周，周/min
- L ：气缸的行程，cm
- d ：换向阀与气缸之间的配管的内径，cm
- L_d ：配管的长度，cm

表 4.1 耗气量计算结果

Table4-1 Calculation results of gas consumption

	起边气缸	水平气缸	左臂	右臂	定心气缸
最大耗气量 L/min(AND)	81.086	243.24	20.76	83.03	24.91
平均耗气量 L/min(AND)	3.8 (20)	118.5(100)	3.8(50)	5.33(50)	2.53(20)
合成有效截 面积 mm ²	1.09	3.27	0.68	1.12	0.33
预估主控阀 的有效截面 积 mm ²	2.18	6.54	1.36	2.24	0.66

注：各管道直径均为 6mm，括号内的数值为配管长度的估计值（cm）。

4.4.2 主控阀、辅助阀、速度控制阀、消声器、配管等的选型

根据式

$$q_a = 0.124 \times S \times p_1 \times \sqrt{\frac{278}{T_1}} \tag{4.3}$$

- q_a ：标准状态下的体积流量，L/min(ANR)；
- p_1 ：气动元件上游管道内的绝对压力，kPa；
- T_1 ：气动元件上游管道内的绝对压力，K；
- S ：壅塞流下的有效截面积，mm²；

令 q_a 为各气缸的最大耗气量， $p_1=600\text{kPa}$ ， $T_1=273\text{K}$ ，则可粗预估出各缸的充排

气回路的合成有效面积 $S_{\text{合}}$ 。列于表 4-1 中。

各气缸的充排气回路都是由主控阀、速度控制阀、管路、管接头及消声器等构成，高主控阀、速度控制阀、管路及其他部分各占流动阻力的 1/4，配管选 $\square 8/\square 6$ (外径/内径)。则初步推算出主控阀的有效截面积为 $2S_{\text{合}}$ ，将各气缸推算出的主控阀有效面积列入表 4-1 中。根据主控阀的有效截面积 $\geq 2S_{\text{合}}$ ，来选择主控阀的型号表 4-2。速度控制阀、管路、管接头及消器均根据回路的合面有效截面积和联接管路来选择。调速阀选 AS2201F-02-08，其 S 值为 7mm^2 ，考虑到调节缸速时，速度控制阀的实际有效截面积一定小于 7mm^2 。

表 4-2 各充排气回路元件型号^[29]

Table4-2 Every exhaust and inflatable circuit component model

气缸	主控阀	消声器	速度控制阀	管接头	配管 (外径/内径)
起边气缸	SY3220-01 (3.2)	AN101-01 (20)	AS2201F-02-08 (7)	$\square 8 \times R1/8$ $\square 6 \times R1/8$ $\square 6 \times M5$	TU0806 (14)
水平气缸	SY3220-01 (3.2)	AN101-01 (20)	AS2201F-02-08 (7)	$\square 8 \times R1/8$ $\square 6 \times R1/8$ $\square 6 \times M5$	TU0806 (14)
左臂	SY5220-01 (12)	AN101-01 (20)	AS2201F-02-08 (7)	$\square 8 \times R1/8$ $\square 6 \times R1/8$	TU0806 (14)
右臂	SY3220-01 (3.2)	AN101-01 (20)	AS2201F-02-08 (7)	$\square 8 \times R1/8$ $\square 6 \times R1/8$	TU0806 (14)
定心气缸	SY5220-01 (12)	AN101-01 (20)	AS2201F-02-08 (7) $\square$	$\square 8 \times R1/8$ $\square 6 \times R1/8$	TU0806 (14)

注：（）内为有效截面积，单位为 mm^2 。

4.6 本章小结

不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的执行机构包含有电机、气缸、电磁阀、气源处理装置、真空元件等，其中气动系统是冲压成形自动上下料系统的重要组成部分

分。本章介绍了不锈钢锅底板冲压成形自动上下料系统的部分执行机构，即气动系统和真空系统。主要对该生产线上下料系统的气动回路和真空系统回路进行了设计，设计了水平气缸支路的缓冲回路、气动系统、真空系统及整体气压回路原理图，对气动回路的运动过程进行了描述，并通过计算耗气量、有效截面积对主控阀、辅助阀、速度控制阀及消声器等进行了选择。

第五章 冲压上下料系统的 PLC 控制

不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的控制可以采用继电器与接触器电路的控制方式，也可以采用 PLC 的控制方式。当用继电器与接触器的控制方式时，只需在气动系统与真空系统联合控制的前面增加提升机的控制，而后面增加冲压过程组成的顺序控制回路即可实现；而采用 PLC 控制方式，则更加简单，选用合适的 PLC 及扩展模块对输入信号进行采集，来控制输出线圈的通断电来实现，能使控制过程更加合理，更加方便操作，更加人性化，且具有更强的可视化效果。在工业自动化控制中，一般采用 PLC 的控制方式^[30]。

5.1 PLC 概述

5.1.1 PLC 的工作原理

PLC 的工作原理是基于对输入信号不断地进行监视，输入信号来自按钮、行程开关、光电开关、指令开关、变送器和传感器等这类装置。当检测到信号状态发生改变时，控制系统马上做出反应，通过对用户所编制的用户程序进行循环扫描，PLC 就是通过这种循环扫描的工作方式产生输出信号，控制被控系统的外部负载，如继电器、接触器、电磁阀、电动机、指示灯和报警器等，扫描周期与 CPU 运行速度、PLC 硬件配置及用户程序长短有关，典型情况为 $1\sim 100\text{ms}$ ^[26]。其实际应用中的控制过程^[31, 32]如图 5-1 所示。

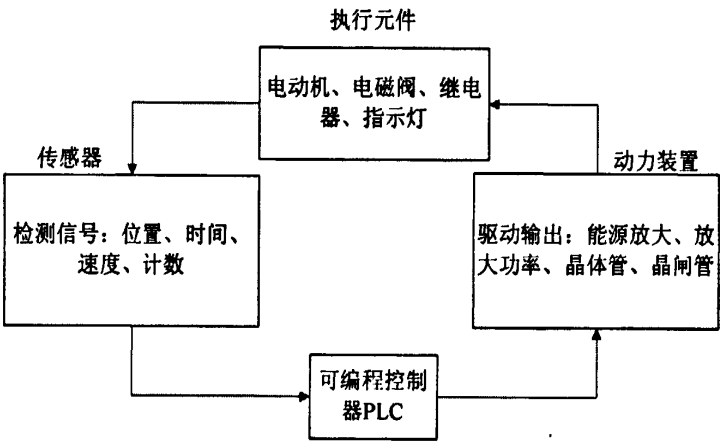


图 5-1 PLC 控制过程

Fig. 5-1 PLC control process

5.1.2 PLC 的结构组成及其编程

5.1.2.1 PLC 的结构组成

PLC 是一种以微处理器为核心, 综合了计算机技术、半导体存储技术和自动控制技术的一种工业控制专用计算机, 其结构组成与微机基本相同, 包括以下几部分: 中央处理单元(CPU)、存储器、输入输出(I/O)部件、电源部件和外部设备。

5.1.2.2 PLC 的编程语言^[39]

西门子 PLC 的编程语言一般有以下几种:

1、顺序功能图 (Sequential Function Chart, SFC)。顺序功能图提供了一种组织程序的图形方法, 步、转换和动作是顺序功能图中的三种主要元件。

2、梯形图 (Ladder Diagram, LD)。梯形图由触点、线圈和用方框表示的功能块组成, 是使用得最多的 PLC 图形编程语言, 且与继电器控制系统的电路图相似, 容易被工厂熟悉继电器的技术人员掌握, 特别适用于数字量逻辑控制, 又称为电路或程序。

3、功能块图 (Function Block Diagram, FBD), 该编程语言类似用与门、或门的方框来表示逻辑运算关系的门电路, 有一定数字电路基础的人较容易掌握。

4、指令表 (Instruction List, IL), S7 系列 PLC 将指令表称为语句表, 是一种与微机的汇编语言中的指令相似的助词符表达式, 由指令组成指令表程序或语句表程序。较适合熟悉 PLC 和程序设计的经验丰富的程序员使用。

5、结构文本 (Structured Text, ST), 结构文本是为 IEC 61131-3 标准创建的一种专用的高级编程语言, 其中与梯形图相比, 能实现复杂的数字运算, 编写的程序非常简洁和紧凑。

5.1.2.3 常用 PLC 的编程方法

常用的 PLC 编程方法有经验法、解析法、图解法。

1、经验法

即是运用自己的或别人的经验进行设计, 设计前选择与设计要求相类似的成功的例子, 并进行修改, 增删部分功能或运用其中部分程序, 直至适合自己的情况。在工作过程中, 可收集与积累这样成功的例子, 从而可不断丰富自己的经验。

2、解析法

可利用组合逻辑或时序逻辑的理论, 并运用相应的解析方法, 对其进行逻辑关

系的求解,然后再根据求解的结果,画成梯形图或直接写出程序。解析法比较严密,可以运用一定的标准,使程序优化,可避免编程的盲目性,是较有效的方法。

3、图解法

图解法是靠画图进行设计。常用的方法有梯形图法、波形图法及流程法。梯形图法是基本方法,无论是经验法还是解析法,若将 PLC 程序转化成梯形图后,就要用到梯形图法。波形图法适合于时间控制电路,将对应信号的波形画出后,再依时间逻辑关系去组合,就可很容易把电路设计出。流程法是用框图表示 PLC 程序执行过程及输入条件与输出关系,在使用步进指令的情况下,用它设计是很方便的。

5.2 不锈钢锅冲压成形自动上下料系统控制特点分析

实现不锈钢冲压成形自动上下料系统的控制,主要是要完成提升机、机械手、输送机、涂油机、冲床的联合控制,也可以说是机电气联合控制^[34]。根据该生产线上料系统的运动过程,可知具体的控制特点如下:

1、核心是要能够实现该生产线的所有动作;

2、满足该生产线对产品的加工质量以及生产效率的要求,要以提高生产效率,解放生产力作为首要目的;

3、最为重要的是要保证该生产线上料系统安全、稳定、可靠地工作。应具有手动、自动、复位三种工作模式,并且这三种模式要进行互锁。录其中一种工作模式正在运行时,只要其他模式的按钮有动作,即可停止当前的模式,进入另一模式,实现模式之间的切换^[35]。在手动模式下也要实现往返方向的互锁,例如控制起边吸盘上下运动的两线圈不能同时得电;

4、要尽可能地简化控制系统的结构,切实降低生产以及制造成本;

5、提高自动化程度,减轻工人的劳动强度;

6、改善操作性能,使该生产线控制系统易于操作,操作过程易学易用,并且方便检测与维修。

5.3 PLC 及扩展模块的选择

5.3.1 I/O 点的选择

该生产线的输入信号有:4 个光电传感器检测信号,3 个压力开关信号,10 个行程开关信号,12 个手动开关信号,1 个自动启动信号,1 个启动/停止信号,1 个

复位信号, 1 个热继电器安全保护信号, 共需 32 个输入点。

输出信号有: 气压与真空回路中各电磁换向阀中电磁线圈, 提升机电机的正反转, 起边电机、输送机、涂油机电机的转动, 热报警、换料报警、故障报警等报警等蜂鸣报警器, 冲床的冲压, 共 23 个输出点。

因此所选 PLC 与扩展模块的输入数的和应该大于共需 32, 而输出点数的和应该大于 23。

西门子 PLC 的输出形式有两种晶体管输出型、继电器输出型、双向可控硅输出型。根据负载的类型、电流的大小以及由于晶体管输出比继电器输出响应速度快, 晶体管输出的响应时间大约为 0.2ms, 而继电器输出型的响应时间为 10ms, 且晶体管是电子元件只有老化, 没有使用次数的限制。为了保证按节拍运行, 提高工作效率, 选响应时间更快的晶体管输出型 PLC。

选 CPU224, 扩展模块选 2 个 EM223 和 1 个 EM221。

CPU224 DC/DC/DC: 14 输入点, 10 个晶体管输出点, 共 24 个数字量 I/O 点, 可连接 7 个扩展模块, 最大可扩展至 168 路数字量 I/O 点或 35 路模拟量 I/O 点, 13KB 程序和数据存储空间, I/O 端子排可很容易地整体拆卸, 且有较强的控制能力, 并且为扩展模块提供的 DC 5V 电源的输出电流最大为 660mA^[36]。

EM223: 8 个数字量输入, 8 个晶体管输出, 共 16 个输入输出接口, 且具有光隔离、低功耗等功能。

EM221: 8 个数字量输入。

该配置共有 38 个输入点, 26 个输出点, 完全能够满足该生产线的要求。

5.3.2 电源计算

所谓电源计算, 就是用 CPU 所能提供的工作电源, 减去各模块所需要的电源消耗量。S7-200 PLC CPU 模块提供 DC 电源 5V 和 24V: 当有扩展模块时 CPU 通过 I/O 为其提供 5V 电源, 所有扩展模块的 5V 电源消耗之和不能超过该 CPU 提供的电源额定, 若不够用不能外接 5V 电源。每个 CPU 都有一个 DC 24V 传感器电源, 它为本机输入点和扩展模块输入点及扩展模块继电器线圈提供提供 DC 24V。如果电源要求超出了 CPU 模块的电源定额, 可以增加一个外部 DC 电源 24V 来提供给扩展模块^[36]。

根据所选配置 CPU224 DC/DC/DC, 扩展模块选 2 个 EM223 (8 个输入, 8 个输

出) 和 1 个 EM221。CPU 电源预算如表 5-1 所示。

表 5-1 电源计算

Table5-1 Power calculation

CPU 电源预算	5V DC	24V DC
CPU 224 DC/DC/DC	660 mA	280 mA
减		
系统要求	5V DC	24V DC
CPU 224, 14 输入		14×4 mA =56 mA
2 EM 223, 5 V 电源需求	2×80mA=160 mA	
1 EM 221, 5V 电源需求	1×30 mA=30 mA	
2 EM 223, 每个 8 输入		2×8×4 mA=64 mA
2 EM 223,每个 8 继电器线圈		2×8×9 mA =144 mA
1 EM 221,每个 8 输入		8×4 mA =32 mA
总需求	190 mA	240 mA
等于		
电流平衡	5V DC	24V DC
总电流平衡	剩 470 mA	剩 40 mA

电源未超出 CPU 模块的电源定额，可不接外部 24DC 电源。

5.3.3 I/O 点的分配

根据所选配置中 CPU 及各扩展模块的具体情况，输入、输出信号与 PLC 及扩展模块之间的通信电路连接是通过 I/O 接线端口来实现的，且各接口的地址已经固定^[37]。以下是 I/O 端口的具体分配情况：

分配给实际 I/O 的过程映像 I/O 寄存器：

CPU224	EM223	EM223	EM221
I0.0 Q0.0	I2.0 Q2.0	I3.0 Q3.0	I4.0
I0.1 Q0.1	I2.1 Q2.1	I3.1 Q3.1	I4.1
I0.2 Q0.2	I2.2 Q2.2	I3.2 Q3.2	I4.2
I0.3 Q0.3	I2.3 Q2.3	I3.3 Q3.3	I4.3
I0.4 Q0.4	I2.4 Q2.4	I3.4 Q3.4	I4.4
I0.5 Q0.5	I2.5 Q2.5	I3.5 Q3.5	I4.5
I0.6 Q0.6	I2.6 Q2.6	I3.6 Q3.6	I4.6
I0.7 Q0.7	I2.7 Q2.7	I3.7 Q3.7	I4.7
I1.0 Q1.0			
I1.1 Q1.1			
I1.2			
I1.3			
I1.4			
I1.5			

图 5-2 映像寄存器 I/O 分配

Fig. 5-2 Shadow register the I/O distribution

表 5-2 输入点分配

Table5-2 Input point distribution

输入信号	端子	功能
Z	I0.0	自动启动
S	I0.1	手动启动/停止
F	I0.2	复位
	I0.3	提升机高位物料检测
	I0.4	提升机低位物料检测
	I0.5	提升机物料检测
	I0.6	提升机下行程终点
	I0.7	位置检测光电传感器
	I1.0	热保护继电器

续表 5-2:

P0	I1.1	起边真空可调压力开关
P1	I1.2	机械手真空可调压力开关
P2	I1.3	定心压力开关
a0	I1.4	起边上行程终点信号
a1	I1.5	起边下行程终点信号
b0	I2.0	机械手水平左行程止点信号
b1	I2.1	机械手水平右行程止点信号
c00	I2.2	机械手左气缸上行程信号
c01	I2.3	机械手左气缸下行程信号
c10	I2.4	机械手右气缸上行程信号
c11	I2.5	机械手右气缸下行程信号
d1	I2.6	定心终止信号
SB1	I2.7	起边吸盘下行
SB2	I3.0	起边吸盘上行
SB3	I3.1	机械手右行
SB4	I3.2	机械手左行
SB5	I3.3	机械手下行
SB6	I3.4	机械手上行
SB7	I3.5	开始定心
SB8	I3.6	定心返回
SB9	I3.7	起边真空发生器开
SB10	I4.0	起边真空发生器关
SB11	I4.1	机械手真空发生器开
SB12	I4.2	机械手真空发生器关
SB13	I4.3	涂油机、输送机电机转动
SB14	I4.4	涂油机、输送机电机停止
SB15	I4.5	冲压

根据控制要求，及不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的实际情况，CPU 及扩展模块具体的 I/O 分配如表 5-2、5-3：

表 5-3 输出点分配

Table5-3 Output point distribution

动作	输出端子	功能
	Q0.0	提升机电机正转
	Q0.1	提升机电机反转
	Q0.2	换料报警
	Q0.3	热报警
	Q0.4	其他故障报警
	Q0.5	输送机 1、2 电机转动
	Q0.6	起边电机转动
	Q0.7	涂油机电机转动
	Q1.0	冲床冲压
YA1	Q1.1	起边吸盘下行
YA0	Q2.0	起边吸盘上行
YB0	Q2.1	机械手右行
YB1	Q2.2	机械手左行
YC00	Q2.3	机械手左臂下行
YC01	Q2.4	机械手左臂上行
YC10	Q2.5	机械手左臂下行
YC11	Q2.6	机械手右臂上行
YD1	Q2.7	开始定心
YD0	Q3.0	定心返回
YE1	Q3.1	起边真空发生器开
YE0	Q3.2	起边真空发生器关
YF1	Q3.3	机械手真空发生器开
YF0	Q3.4	机械手真空发生器关

5.4 不锈钢锅冲压成形自动上料系统的 PLC 程序的编制

采用西门子 S7-200 编程软件 STEP7-Micro/WIN32 对该生产线上料系统进行了梯形图程序设计。将程序编译成 awl 文件, 采用 S7-200 仿真软件进行程序仿真。

不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的 PLC 程序由主程序、自动循环子程序、手动子程序、及复位子程序组成。

5.4.1 主程序

该自动上下料生产线的主程序如图 5-3 所示。

TITLE=主程序↵	AN M11.2↵
Network 1 // 网络标题↵	AN M11.1↵
// 生产线复位↵	= M11.0↵
LD SO.0↵	Network 5 ↵
A IO.2↵	// 手动运行(手动、自动、复位互 锁)↵
S M11.2, 1↵	LD IO.1↵
Network 2 ↵	O M11.1↵
// 输出复位↵	AN M11.2↵
LD M11.2↵	AN M11.0↵
CALL SBR2↵	= M11.1↵
Network 3 ↵	Network 6 ↵
// 复位停止↵	// 输出自动循环↵
LD M11.0↵	LD M11.0↵
O M11.1↵	CALL SBR1↵
R M11.2, 1↵	Network 7 ↵
Network 4 ↵	// 输出手动↵
// 自动运行(手动、自动、复位互 锁)↵	LD M11.1↵
LD IO.0↵	CALL SBR0↵
O M11.0↵	

图 5-3 上下料系统主程序

Fig. 5-3 the main program of Up-down material system

5.4.2 自动循环

根据上下料系统控制特点和前几章中所确定的整体结构及其循环运动过程，现确定生产线上料系统的整体自动循环控制程序流程图如 5-4 示。

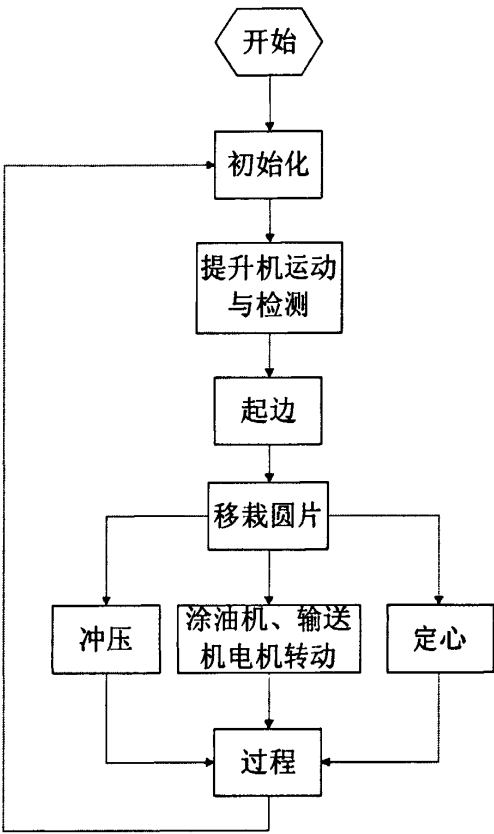


图 5-4 上下料系统的整体循环控制程序流程图

Fig. 5-4 Whole cycle control program flow chart

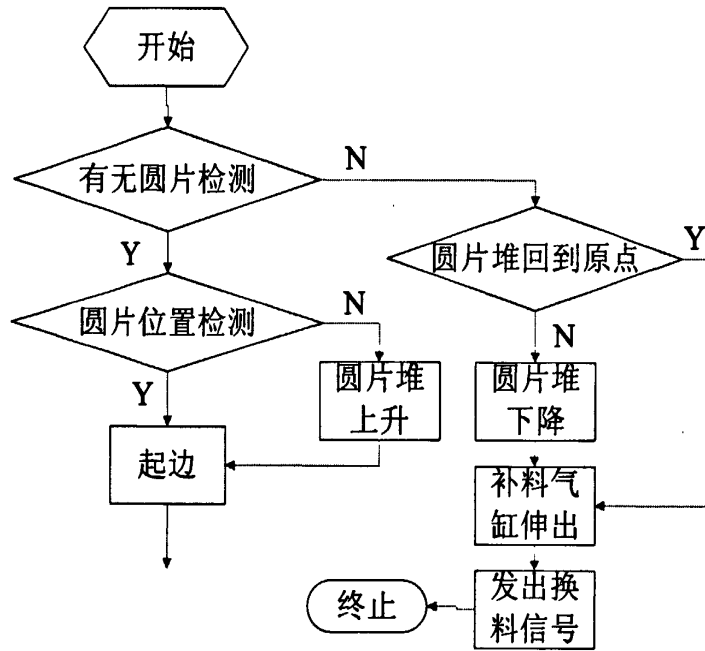


图 5-5 提升机运动与检测控制程序流程图

Fig. 5-5 Elevator movement and detection control program flow chart

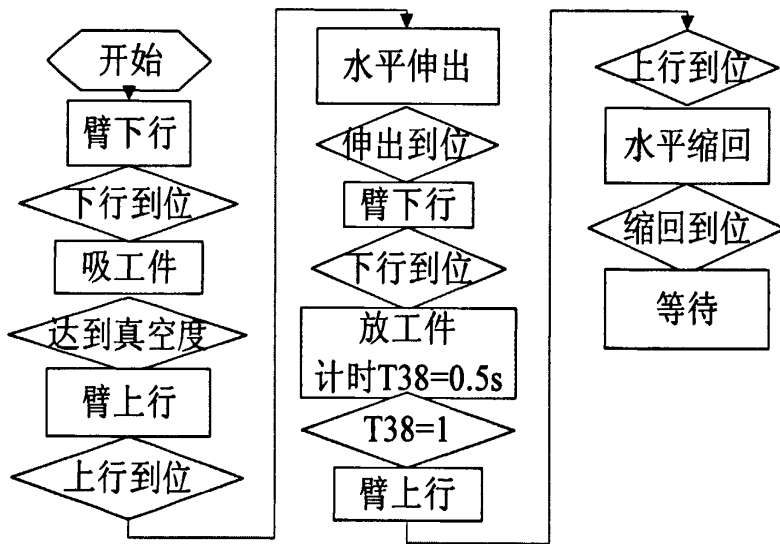


图 5-6 机械手控制程序流程图

Fig.5-6 Manipulator control program flow chart

由提升机的检测来决定循环是否终止^[38], 提升机控制程序流程图如图 5-5 所示。

有无圆片检测 (I0.5): 主要是通过安装在提升机顶料板上的光电传感器来完成

检测过程，根据检测的结果来控制后续过程的动作。

圆片位置检测（I0.4）：又称提升机低位物料检测，检测结果将决定下一步是起边还是提升机电机正转使圆片堆上升。

圆片堆是否回到原点检测（I0.6）：当检测到圆片堆上无圆片时，则要进行原点检测，若 I0.6 有信号输出，说明已经到圆点，直接发出换料信号；若 I0.6 没有信号输出，则提升机电机反转，使顶料板碰到下行行程止点，I0.6 有信号输出，才发出换料信号。

起边：起边的过程是将单块圆片从提升机上整堆圆片中脱离的过程，就是起边气缸控制起边吸盘上下运动及吸圆片的过程。起边的顺序功能图如 5-7 所示。

移栽圆片：根据机械手的工作原理，画机械手控制程序流程图如 5-6 所示，利用机械手的上下与左右运动以及机械手上三组真空吸盘的吸与放的运动，把提升机、输送机、定心机及冲床串起来的过程。机械手的每一个运动与运动之间都要设定一定的停留时间来减少上一机械手运动引起的冲击对机械手下一动作的影响。

冲压，涂油机、输送机的运动，定心这三个运动过程是在机械手运动完后同时时行的，这是由机械手上三组真空吸盘同时吸起不同位置的圆片所决定的，控制冲压机床开始冲压的信号为脉冲信号，冲压过程由延时时间决定，只有当三个过程都完成时，才返回初始步，才等待下一循环。

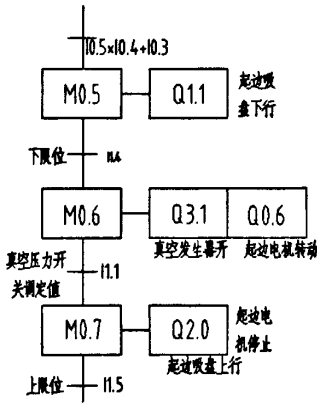


图 5-7 起边的顺序功能图

Fig. 5-7 Sequential Function Chart

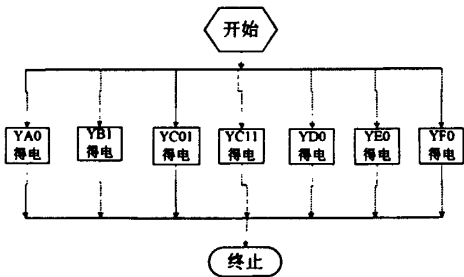


图 5-8 复位程序控制流程图

Fig. 5-8 Reset program control flow chart

复位子程序	
网络 1	网络标题
网络注释	
ID	SM0.1
▪	Q2.0
▪	Q2.4
▪	Q2.4
▪	Q2.6
▪	Q3.0
▪	Q3.2
▪	Q3.4

图 5-9 复位子程序

Fig. 5-9 Reset subprogram

5.4.3 复位程序

复位状态是指使各气缸处于初始状态图 2-4 所示状态，主要用在每次开机后的首次循环以及上下料系统调试中。各线圈的得电信号均为脉冲信号，复位程序流程图及程序如图 5-8、5-9 所示。

5.4.4 报警的实现

考虑到安全、可靠生产，系统必须设有故障报警功能，在自动运行模式下，当前一次动作与紧接着的后一动作之间间隔超过 10 秒时，自动退出自动循环，并发出故障报警信号。在手动模式下，当操作人员没有按照安全生产流程操作时，系统会拒绝执行手动指令，同时发出报警信号。

5.4.5 外部接线

PLC 及其扩展模块的外部接线图如 5-10 所示，在输出回路中由于中间继电器线圈是一个很大的电感，能够以磁场的形式储存电能，当从吸合到断开时，产生很大的感应电动势，很容易击穿 PLC 内部的三极管或者其他电路元件，而将续流二极管与中间继电器线圈并联，以电流的形式中和反向电势，从而保护了其他电路元器件。

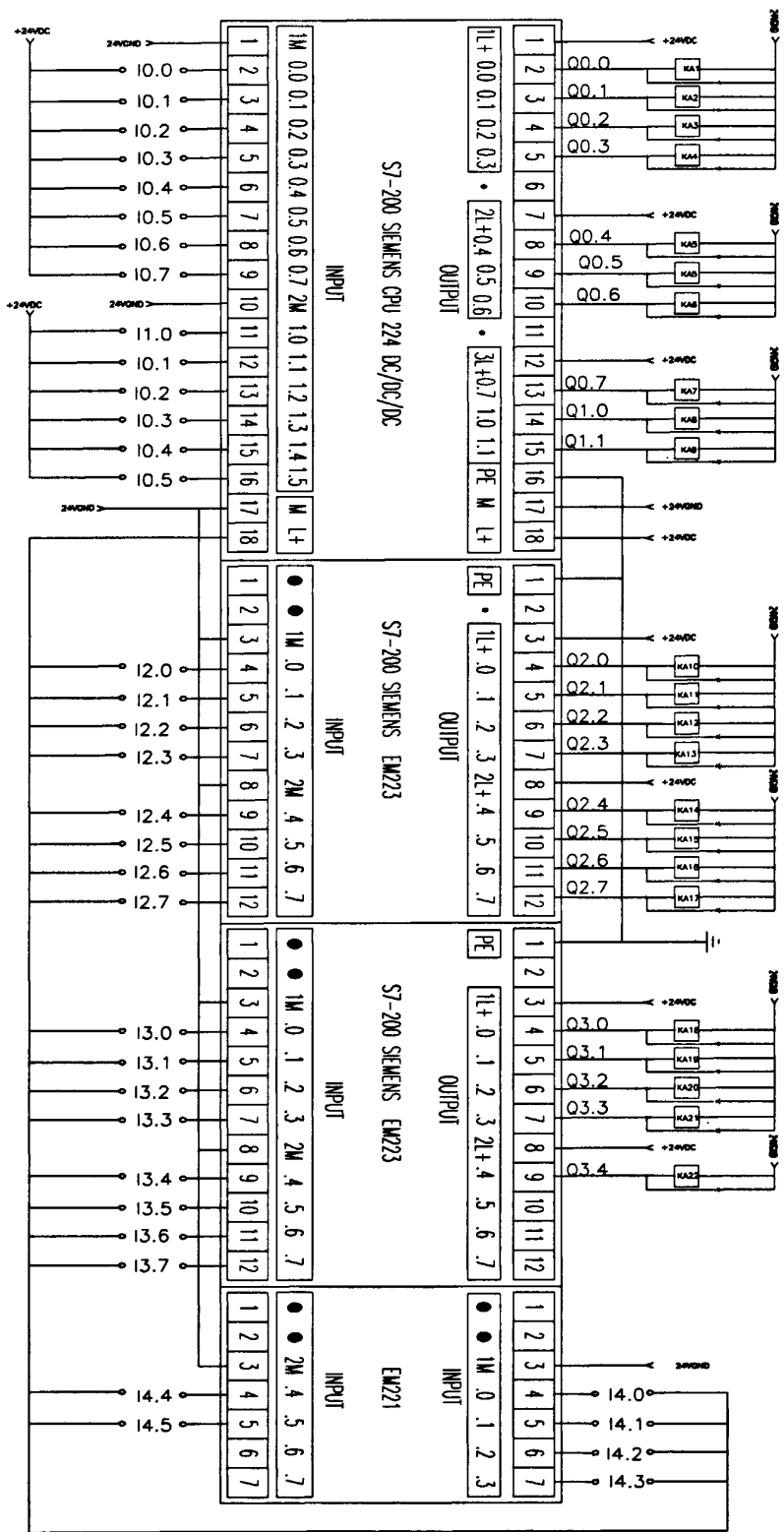


图 5-10 PLC 外部接线图

Fig.5-10 PLC External wiring diagram

5.5 操作说明

打开电源开关后,使 PLC、扩展模块、各电机及冲床得电;按下气动控制开关 P,接通气流;点复位按钮,进入复位模式,把移栽机械手各气缸复位(复位状态如图 4-4 所示);复位终止后,按需要点手动或自动按钮,当启动自动模式时,该生产线会按要求,把整堆圆片都冲压成冲压件,并安全、可靠地输送到生产线整体输送系统;当启动手动按钮时,则切换到手动模式,在该模式下,生产线上料系统可实现可气缸、各电机、各真空发生器的单独动作,当出现故障时,可进行故障检测。手动模式、自动模式、复位模式这三种模式之间采用互锁,任意一种模式运动时,其他两模式处于无效状态,不会产生冲突以及发生安全事故。

5.6 本章小结

本章设计了不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的控制系统,首先简要介绍了 PLC 基本结构、分类、编程语言及工作方式。接着对用于不锈钢锅冲压成形生产线自动上下料系统的 PLC 及其扩展模块进行了选择及其电源的计算,最后给出了 I/O 配置图、控制系统总体流程图、提升机控制流程图、机械手控制流程图,及控制过程中关键部分的顺序功能图,设计了部分梯形图;设计了不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的 PLC 外部接线图,并对操作过程进行了简要描述。

总结与展望

冲压成形自动上下料系统包括机械、电控、气动、真空等系统，具有动作复杂、节拍快、实时控制要求高等特点，针对不锈钢锅体冲压成形工艺特点开发了冲压成形自动上下料系统，主要完成了以下几方面的工作：

1、研究分析了冲压成形自动上下料系统的现状和最新技术发展趋势，不锈钢锅体冲压成形工艺特点和生产要求、确定了不锈钢制品冲压成形上下料系统基本设计思路，选择不锈钢锅体作为制品件进行自动上下料系统设计。

2、确定了不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的整体方案，采用汽缸作为主要的执行元件、PLC 进行系统控制，实现圆片板材提升、起边、定心、输送、下料的连续节拍动作，详细设计并计算了上下料系统中各部件的结构、工作原理，分析了各部件在整个上下料系统中的作用。

3、分析了对冲压自动上下料系统的气动、真空系统，优化设计了不锈钢锅冲压成形自动上下料系统中的气动及真空系统，详细描述了气动及真空系统的工作过程，并对缓冲回路、压力控制回路、及真空回路进行了优化设计。

4、优化设计了不锈钢锅冲压成形自动上下料系统的控制系统。通过 I/O 数量、电源的计算对 PLC 进行选择，采用西门子 PLC S7-200 系列的 CPU224 接扩展模块 EM223、EM221 的方式对该控制系统进行了设计，列出了关键部分的顺序功能图，用语句表的形式写出了该生产线上下料系统的控制程序，设计了 PLC 的外部接线图。

本课题的研究虽然取得了一些成绩，但由于时间仓促、能力有限，有如下方面还需进一步加以研究：

1、由于结构设计、控制设计的经验不足，耗费了大量的时间，并且还可能还存在一些结构不合理，或者控制程序还可以简化的地方。

2、本文只做了冲压生产线中单台冲床的上下料系统，而在一般冲压生产线中，只有一台冲床的情况是很少见的，希望本课题的后续研究者对整条生产线进行设计。科学技术的迅猛发展，生产力水平的不断提高，人们对降低劳动强度、改善工作环境日益重视。在新的世纪，随着我国各项事业的蓬勃发展以及知识经济所面临的机遇和挑战，冲压自动化生产线必将发挥越来越重要的作用，为国民生产产生不可估量的经济效益。随着业内人士的更多了解，相信会有更广阔的应用前景。

参考文献

- [1] Takeuchi M, Kudo M, Kishi T, et al. Development of Flexible Full Automatic Press Line[J]. Toyota Engineering. 1988, 38(1): 37-44.
- [2] 王平, 叶晓苇. 冲压加工设备及自动化[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006.
- [3] Causey G C, Quinn R D, Barendt N A, et al. Design of a flexible parts feeding system[C]. 1997.
- [4] 李彦蓉, 孙晓朋. 冲压自动上料及自动出件装置的研究与设计[J]. 锻压技术. 2010(5): 84-87.
- [5] 周立杰, 刘夕玉. 冲压机床自动吹料装置[J]. 设备管理与维修. 2003(1): 43.
- [6] 上海交通大学主编, 编写组编冲压机械与自动化. 冲压机械化与自动化[M]. 北京: 机械工业出版社: 235.
- [7] 庄宇昀, 徐辉. 冲压线的发展[J]. 一重技术. 2005(4): 20-22.
- [8] 王秀叶, 陈朝华. 板材冲压自动拆垛上料技术[J]. 锻压装备与制造技术. 2004(6): 35-37.
- [9] 王淼. 生产线中生产节拍与速度的若干问题的探讨[J]. 雷达与对抗. 2004(2): 65-68.
- [10] 司震鹏, 曹西京, 姜小放. 真空吸附式机械手系统设计[J]. 包装与食品机械. 2009, 27(6): 26-30.
- [11] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计(第七版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [12] 徐炳辉主编, 编中国液压气动密封件工业协会气动专业分会. 气动手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 435.
- [13] SMC(中国)有限公司. 现代实用气动技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [14] Wang W, Lamb M, Busch-Vishniac I J. An automated loading and unloading system for a maglev wafer transport path[J]. Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on. 1993, 6(3): 276-279.
- [15] 成大先主编. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 169.
- [16] 侯作富, 胡述龙, 张新红主编. 材料力学[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2010: 287.
- [17] 高英南, 王起干. 新型三辊定心装置的研制与应用[J]. 钢管. 1995(6): 36-38.

- [18] 李明飞, 刘静. 铝型材氧化生产线上料机构的研制[J]. 哈尔滨理工大学学报. 1998, 3(4): 10-13.
- [19] 编辑委员会编运输机械设计选用手册. 运输机械设计选用手册.下册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 821.
- [20] Taghizadeh M, Ghaffari A, Najafi F. A Linearization Approach in Control of PWM-Driven Servo-Pneumatic Systems[C]. 2008.
- [21] 陆鑫盛, 周洪编著. 气动自动化系统的优化设计[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2000.
- [22] 北方工业大学流体传动与控制教研室济南华能气动元器件公司编著. 气动元件及系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [23] 苏 盖尔茨 r e p u e. 气动元件和系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990: 510.
- [24] 刘正雷, 罗艳蕾, 王玥, 等. 气动位置顺序控制系统的设计[J]. 贵州工业大学学报: 自然科学版. 2007, 36(2): 40-42.
- [25] 马健群, 王桂先. 气动顺控回路的模式化设计[J]. 机械设计与制造. 1989(5): 46-47.
- [26] 岳满林. 包装码垛自动生产线及控制系统研究[D]. 哈尔滨理工大学, 2007.
- [27] Ruibo Y, Chungeng S, Shaonan B, et al. Analysis of Position Servo System of Pneumatic Manipulator Based on RBF Neural Network PID Control[C]. 2010.
- [28] Che H C H, Kew K W. Computer aided drawing and design of pneumatics circuits (PneuCADDS)[C]. 1994.
- [29] SMC公司简介[Z].: 2011.
- [30] Han L. Fuzzy control of a decoupled vibratory feeding system[C]. 2010.
- [31] 李广明, 李果, 朱炜. 机电系统PLC控制技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [32] Black G, Vyatkin V. Intelligent component-based automation of baggage handling systems with IEC 61499[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2010, 7(2): 337-351.
- [33] 廖常初主编. S7-200PLC基础教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 233.
- [34] Soon-Young Y, Sung-Min J, Soon-Kwang K. Remote control system of industrial field robot[C]. 2008.

- [35] Roncolato R A, Romanelli N W, Horikawa O, et al. Automatic elevator system for maintenance services[C]. 2006.
- [36] 王小玲. 工业机械手的PLC控制[J]. 机电工程技术. 2004, 33(9): 32-33.
- [37] 陆述田, 侯文霞. 液压系统自动循环的PLC控制设计[J]. 机床与液压. 2000(4): 72.
- [38] Xiaoling Y, Qunxiong Z, Hong X. Design and Practice of an Elevator Control System Based on PLC[C]. 2008.

致谢

论文是在尊敬的导师阎秋生教授的精心指导下完成的。在我整个读研究生学习期间，始终得到导师的亲切关怀和教诲，在此致以深深的谢意。在作论文期间，导师严谨的治学精神，渊博的学术造诣、对科学事物深刻的洞察力、活跃的学术思想给了我极大的心灵震撼和启迪，必将影响和指导我以后的人生态度。在生活中，老师宽以待人的崇高品质、对学生孜孜不倦的教诲，必将鼓励我在以后的生活和工作中时刻保持旺盛的斗志，创新的头脑，为祖国科学事业的发展贡献微薄之力。感谢导师这三年来对我诸多方面的教导和帮助。

感谢潘继生老师在学习、课题以及论文撰写、论文修改等方面给出的宝贵意见与指导。

高伟强老师、路家斌老师在百忙之中，也给予了多方面的关心和指导，使我的工作得以顺利进行。二位老师在科研和做人方面也都给我树立了光辉的榜样，使我受益匪浅。在此也要向二位老师表示感谢！

感谢孔令叶博士，柴京富博士对我在课题研究及论文撰写过程中的指导和帮助，感谢师兄、师姐对我的帮助和引导。

感谢和我一起生活过的研究生们，同一实验室的同学、师弟师妹们，他们为我的学习、生活创造了良好的环境，并给予了很大帮助，为课题的顺利进行提供了基础条件。还要特别感谢他们在课题期间给予了很大的关心和帮助，提出过很多宝贵的意见。

最后，我还要特别感谢父母、女友在读研期间给予的极大亲情和关怀，感谢他们对我的支持、理解和帮助！