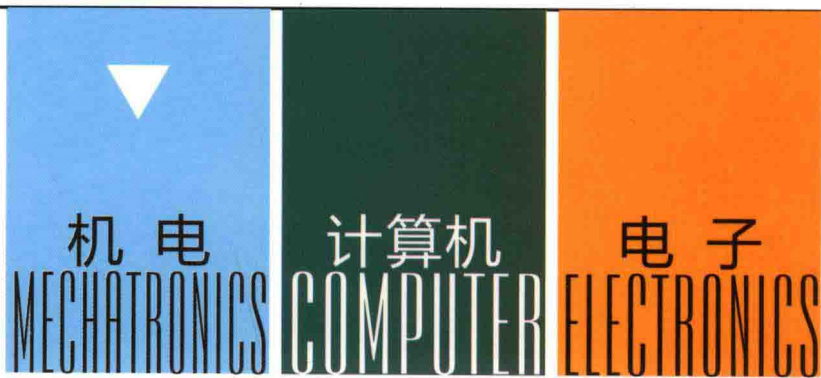


▶ 高等学校应用型本科“十三五”规划教材



自动化生产线控制系统 设计与实践

▶ 主 编 徐兵 高强明
副主编 茅丰 王贵成 夏乃洁

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

自动化生产线控制系统 设计与实践

主 编 徐 兵 高强明

副主编 茅 丰 王贵成 夏乃洁

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书分为物料处理生产线自动化设计与实践和柔性制造系统自动化设计与实践两个部分。其中，第一部分包括 5 个项目，即自动化进料工序、自动化清洗工序、自动化加工序、自动化包装工序以及自动化装运/储存工序的控制系统设计；第二部分包括 7 个项目，即自动化立体仓库、自动化搬运系统、自动上料装置与数控加工车床、机器视觉质量检测、自动化热处理单元控制系统、环形传输线自动化控制系统设计、自动分拣控制系统设计与实践。每个项目都将逻辑控制技术、传感检测技术、工业控制技术结合起来，具有一定的代表性和设计指导意义。

本书可供机电一体化、机械工程与自动化、电气自动化、工业企业自动化和仪表自动化等专业的学生使用，也可供专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动化生产线控制系统设计与实践 / 徐兵, 高强明主编.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.6

ISBN 978-7-5606-4869-9

I. ① 自… II. ① 徐… ② 高… III. ① 自动生产线—控制系统设计 IV. ① TP278

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 028764 号

策划编辑 李惠萍

责任编辑 张 岚 阎 彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 15

字 数 351 千字

印 数 1~3000 册

定 价 35.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4869 - 9 / TP

XDUP 5171001-1

如有印装问题可调换

前 言

创新教育和实践能力的培养，是我国高等工程教育的重要内容。本书以培养和提高学生解决复杂工程问题的能力为目标，以典型的物料处理生产线和柔性制造生产线的自动化控制系统为案例，系统地介绍了自动化生产线的工程原理分析方法和控制技术应用要点，从实际应用角度出发来组织教材内容，形成了项目式的实践教学内容体系。生产线自动化技术是现代工业中必不可少的控制技术，广泛应用于工业企业的各个领域。理解生产线自动化控制系统的核心技术，掌握生产线自动化控制系统的设计方法，并且能够将现代控制理论运用到实际项目中，是每一位高技能型人才必须具备的基本能力之一。

本书内容分为物料处理生产线自动化设计与实践和柔性制造系统自动化设计与实践两大部分。按照基于项目的工程教学方法，本书将生产线划分成若干相对独立又相互联系的生产单元，把每个单元的自动化控制系统设计与实践的的教学任务作为一个教学项目。每个项目都将逻辑控制技术、传感检测技术、工业控制技术相结合，在工业自动化技术方面都具有较高的设计指导意义。本书对每个项目的硬件组成、生产流程都进行了相关介绍，并详细阐述了各项目控制系统的设计原理和技术方法。本书配套的实训系统，为高校工程教育和卓越工程师的培养提供了一个展示、体验、开发和工程应用的先进自动化技术与装备的真实工业环境，向学生展示了目前主流的自动化技术和控制装备，使学生可以从中了解到自动化技术在工业生产中的实际应用。

本书注重实际，强调应用，可作为机电一体化、机械工程与自动化、电气自动化、工业企业自动化和仪表自动化等相关专业高技能型人才培养的实训教材，也可供工程技术人员参考使用。

在本书的编写过程中，上海辰竹仪表有限公司董事长兼总经理王竹平先生给予了大力支持和帮助，西安电子科技大学出版社李惠萍女士在编写、修改以及统稿等方面都给予了

悉心指导，研究生房超、任狄、卢娜等同学在编辑、校对文稿和图形绘制等方面做了大量工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2017年12月于上海

目 录

第一部分 物料处理生产线自动化设计与实践

概述一	1	2.3.4 控制系统上位机组态软件编程	41
一、引言	1	课后思考题	42
二、控制器简介	2	项目三 自动化加热工序控制系统设计	43
三、自动化生产线项目案例——物料自动化 处理生产线简介	4	3.1 实训目的	43
课后思考题	5	3.2 实训原理	43
项目一 自动化进料工序控制系统设计	6	3.2.1 加热工序的工艺描述	43
1.1 实训目的	6	3.2.2 加热工序的控制要求	44
1.2 实训原理	6	3.3 实训内容	44
1.2.1 进料工序生产流程概述	6	3.3.1 加热工序控制系统的设计流程	44
1.2.2 进料工序的控制要求	7	3.3.2 控制器硬件设计和应用程序设计	44
1.3 实训内容	8	3.3.3 控制系统上位机组态软件编程	49
1.3.1 进料工序控制系统的设计流程	8	课后思考题	53
1.3.2 控制功能设计说明及流程图	9	项目四 自动化包装工序控制系统设计	54
1.3.3 控制器硬件选型	11	4.1 实训目的	54
1.3.4 控制器应用程序设计	23	4.2 实训原理	54
1.3.5 控制系统上位机组态软件编程	27	4.2.1 包装工序的工艺描述	54
课后思考题	31	4.2.2 包装工序的控制要求	55
项目二 自动化清洗工序控制系统设计	32	4.3 实训内容	55
2.1 实训目的	32	4.3.1 控制功能设计说明及流程图	55
2.2 实训原理	32	4.3.2 控制器硬件选型和应用程序设计	57
2.2.1 清洗工序工艺概述	32	4.3.3 控制系统上位机组态软件编程	62
2.2.2 清洗工序的控制要求	33	课后思考题	68
2.3 实训内容	34	项目五 自动化装运/储存工序控制系统设计	69
2.3.1 清洗项目控制系统的设计流程	34	5.1 实训目的	69
2.3.2 控制功能设计说明及流程图	35	5.2 实训原理	69
2.3.3 控制器硬件设计和应用程序设计	37	5.2.1 储存工序的工艺概述	69
		5.2.2 储存工序的控制要求	70

5.3 实训内容.....	70	5.3.3 控制器应用程序设计	73
5.3.1 控制功能设计说明及流程图	70	5.3.4 控制系统上位机组态软件编程.....	77
5.3.2 控制器硬件设计	71	课后思考题.....	81

第二部分 柔性制造系统自动化设计与实践

概述二 柔性制造系统简介	82	7.3.3 控制器应用程序设计	124
一、项目简介	82	7.3.4 与现场总线系统的信息交互	134
二、项目进度规划设计方法	84	课后思考题	134
三、控制系统的控制逻辑流程图设计	88	项目八 自动上料装置与数控加工车床	135
项目六 自动化立体仓库.....	92	8.1 实训目的	135
6.1 实训目的	92	8.2 实训原理	135
6.2 实训原理.....	92	8.2.1 实训装置简介.....	135
6.2.1 自动化立体仓库简介.....	92	8.2.2 XY工作台的机械设计	137
6.2.2 立体仓库实验装置.....	94	8.3 实训内容	138
6.2.3 巷式起重机实验装置.....	96	8.3.1 控制功能设计说明.....	138
6.2.4 传感器选型与状态信号连接.....	97	8.3.2 控制器硬件设计	139
6.2.5 立体仓库主要自动化部件.....	98	8.3.3 控制器应用程序设计	140
6.3 实训内容.....	99	课后思考题	141
6.3.1 控制功能设计说明.....	99	项目九 机器视觉质量检测.....	142
6.3.2 控制器硬件设计和应用程序 设计	101	9.1 实训目的	142
6.3.3 与现场总线系统的信息交互.....	118	9.2 实训原理	142
课后思考题.....	118	9.3 实训内容	143
项目七 自动化搬运系统.....	119	9.3.1 控制功能设计说明.....	143
7.1 实训目的	119	9.3.2 控制器硬件设计	143
7.2 实训原理.....	119	9.3.3 机器视觉应用程序操作说明	145
7.2.1 自动化搬运系统单元简介	119	课后思考题	150
7.2.2 搬运机械手的控制需求.....	121	项目十 自动化热处理单元控制系统	151
7.3 实训内容	122	10.1 实训目的	151
7.3.1 控制功能设计说明.....	122	10.2 实训原理	151
7.3.2 控制器硬件设计	122	10.3 实训内容	153
		10.3.1 控制功能设计说明.....	153

10.3.2 控制器硬件设计.....	153	项目十二 自动分拣控制系统设计与实践	167
10.3.3 控制器应用程序设计.....	155	12.1 实训目的	167
课后思考题.....	161	12.2 实训原理	167
项目十一 环行传输线自动化控制系统设计 ...	162	12.2.1 自动分拣系统流程描述.....	167
11.1 实训目的	162	12.2.2 自动分拣系统的控制需求.....	168
11.2 实训原理.....	162	12.3 实训内容	170
11.3 实训内容.....	163	12.3.1 控制功能设计说明.....	170
11.3.1 控制功能的设计说明.....	163	12.3.2 控制器硬件设计.....	173
11.3.2 控制器硬件设计.....	164	12.3.3 安全控制系统设计.....	174
11.3.3 控制器应用程序设计.....	165	12.3.4 控制器应用程序设计.....	176
课后思考题.....	166	课后思考题.....	187
附录	188		
附录 1 柔性制造实验系统操作面板标识图.....	188		
附录 2 柔性制造实验系统柜体电源接线.....	188		
附录 3 柔性制造实验系统原理	190		
附录 4 物料自动化生产线部分工序 PLC 参考程序	192		
附录 5 组态软件参考程序	213		
附录 6 自动分拣系统程序	215		
附录 7 机械安全基础标准	220		
附录 8 GB/T 16855—2012《机械安全控制系统有关安全部件》	225		
参考文献	231		

第一部分

物料处理生产线自动化设计与实践

概 述 一

一、引言

随着社会的进步,经济、文化以及科技发展的日新月异,自动化技术在社会的各行各业中得到了广泛的应用,其中又以自动化生产线应用最为广泛。自动化生产线具有效率高、应用灵活、工作精度高、运行平稳等特点,节省了人力物力,大大提高了生产效率。目前,自动化生产线在我国工业生产领域及其他诸多领域已被广泛应用,并且有着十分广阔的应用前景。

生产线即产品生产过程中所经过的路线,即从原料进入生产现场开始,经过加工、运送、装配、检验等一系列生产活动所构成的路线。狭义的生产线是按照对象原则组织起来的,是完成产品工艺过程的一种生产组织形式,即按产品专业化原则,配备生产某种产品所需要的各种设备和各工种的工人来完成某种产品(零、部件)的全部制造工作,并对相同的劳动对象进行不同工艺的加工。

生产线的主要产品或多数产品的工艺路线和工序劳动量的比例,决定了一条生产线上为完成某几种产品的加工任务所必需的机器设备的数量,以及机器设备的排列和工作地的布置等。生产线具有较大的灵活性,能适应多种品种生产的需要;在不能采用流水线生产的条件下,组织生产线是一种比较先进的生产组织形式;在产品品种规格较为复杂、零部件数目较多、每种产品产量不多、机器设备不足的企业里,采用生产线生产的方式往往能取得良好的经济效益。因此,培养工科专业的大学生掌握生产线自动化控制系统的工程设计方法具有重要的意义。

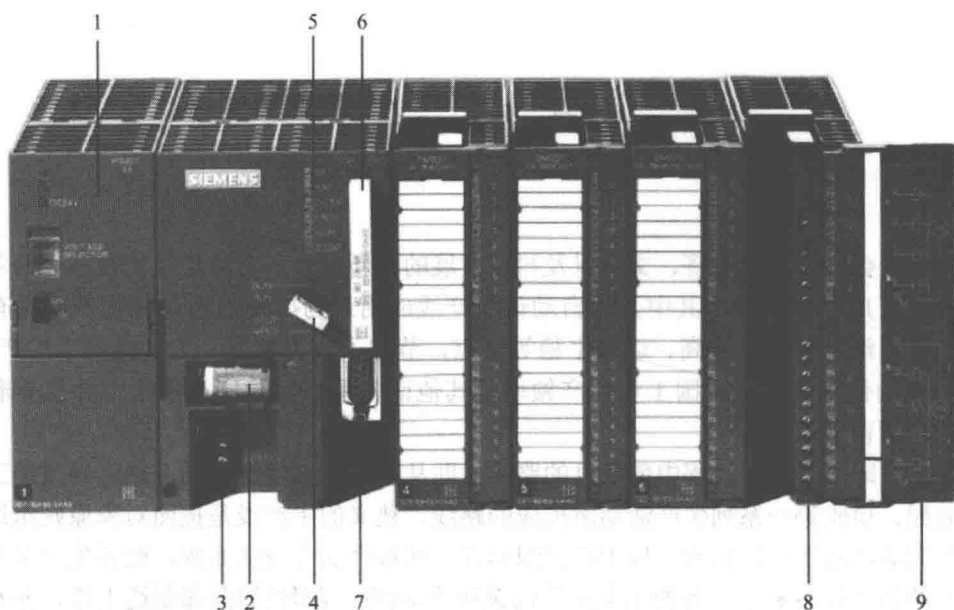
目前工业上常用的是由可编程控制器(Program Logic Controller, PLC)组成的自动化控制系统。本书应用 SIMENS S7-300 控制器,以两条连续的自动化生产线为工程案例,详细

介绍自动化生产线的工程设计方法。每条生产线划分为五个实训项目，每个实训项目配备一套 SIEMENS S7-300 控制器，各项目通过工业现场总线互相连接，以实现整个生产线的自动化控制。

二、控制器简介

1. 控制器硬件集成

本书采用 SIEMENS S7-300 作为生产系统中的控制器。S7-300 是模拟式中小型 PLC，其结构如图 G1-1 所示。它的电源、CPU 和其他模块都是独立的。可以通过 U 形总线把电源(PS)、CPU 和其他模块紧密固定在西门子 S7-300 的标准轨道上。每个模块都有一个总线连接器，后者插在各模块的背后。电源模块安装在机架的最左边，CPU 模块紧靠电源模块。CPU 的右边是可以选择的接口模块 IM。如果只用主架导轨而不使用扩展支架，可以不选择 IM 接口模块。



- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1. 负载电源（选项） | 6. 存储器卡（CPU313以上） |
| 2. 后备电池（CPU313以上） | 7. MPI 多点接口 |
| 3. 24V DC 连接 | 8. 前连接器 |
| 4. 模式开关 | 9. 前门 |
| 5. 状态和故障指示灯 | |

图 G1-1 S7-300 PLC 结构图

使用 S7 编程软件组态主架导轨硬件时，电源、CPU 和 IM 分别放在导轨的 1 号槽、2 号槽和 3 号槽上。一条导轨共有 11 个槽号，其中 4~11 号槽可以随意放置除电源、CPU 和 IM 以外的其他模块，如 DI(数字量输入)、DO(数字量输出)、AI(模拟量输入)、AO(模拟量输出)、FM(功能模块)和 CP(通信模块)等。

CPU 模块是控制系统的核心，负责系统的中央控制，可存储并执行程序，实现通信功能。

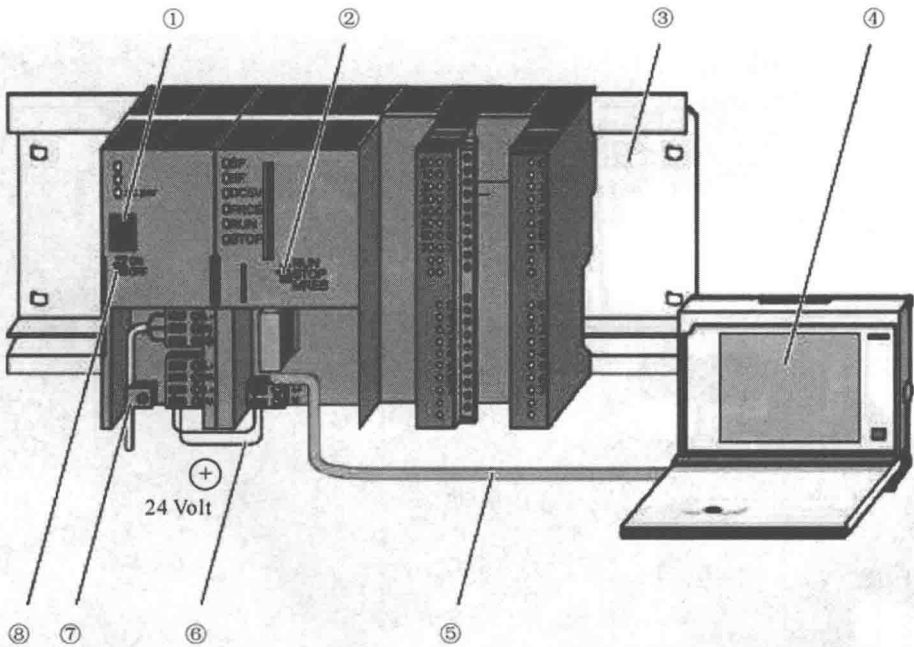
CPU 有四种操作模式：STOP(停机)、STARTUP(启动)、RUN(运行)和 HOLD(保持)。在所有的模式中，CPU 都可以通过 MPI 接口与其他设备通信。

S7-300 的 CPU 模块大致可以分为以下几类：

- (1) 带有集成功能和 I/O 的 6 种紧凑型 CPU：CPU 312C、313C、313C-PtP、313C-2DP、314C-PtP 和 314C-2DP。
- (2) 扩展标准型 CPU：CPU 312、314 和 315-2DP。
- (3) 5 种标准的 CPU：CPU 313、314、315、315-2DP 和 316-2DP。
- (4) 户外型 CPU：CPU 312 IFM、314 IFM、314 户外型和 315-2DP。
- (5) 大容量高端型 CPU：317-2DP 和 CPU 318-2DP。
- (6) 主从接口安全型 CPU：CPU 315F-2DP。

2. 控制器的系统连接

S7-300 采用 SIMATIC S7 STEP 7 作为应用软件开发平台，开发者通过给上位机安装 STEP 7 开发平台来进行程序设计，完成程序编制后通过专用通信卡或模块下载在 S7-300 的 CPU 中运行。具体的通信连接如图 G1-2 所示。



- ①—设置电源电压；②—模式选择器；③—固定导轨；④—安装了 STEP 7 软件的编程设备；
⑤—PG 电缆；⑥—连接电缆；⑦—张力消除夹；⑧—电源开/关

图 G1-2 PLC 的通信连接

将装有 STEP 7 的 PC 通过 PG 电缆与 PLC 的 MPI 接口相连接。将 CPU 的模式选择器开关拨到 STOP 位置，再将电源模块的电源打开，完成通信连接和程序下载准备。上位机

可使用 KingView、Win CC 等多种工业自动化专用组态软件。具体开发方法详见 STEP 7 和组态软件使用手册以及本书中应用软件设计的有关内容。

三、自动化生产线项目案例——物料自动化处理生产线简介

物料自动化处理生产线是由相互连接的传送带和工业设备组成的一个自动处理和装袋系统,如图 G1-3 所示。整个处理过程模拟工业生产批量原料的不同处理阶段,由进料、清洗、预干燥、热处理、包装、储存六个工序组成,每个工序阶段都具有独立的自动化运行和显示控制单元,同时自动化的网络控制模式也可以让学生们分析自动控制设备的功能和相关操作。各工序的主要功能如下。

- (1) 进料工序:将原料(小石子)通过振动筛筛选,将不符合体积大小要求的原料分离;
- (2) 清洗工序:将筛选过的原料进行清洗,去除原料中的粉尘;
- (3) 预干燥:将洗过的原料通过振动台滤水和两台独立的加热器加热处理,使原料的湿度达到 30%左右;
- (4) 热处理:将预干燥过的原料进行热处理烘干,使原料的湿度达到 0%,并通过滚筒冷却;
- (5) 包装工序:将达到质量要求的产品进行包装,可以根据规格要求进行自动化包装;
- (6) 储存工序:将包装好的不同质量的产品储存到不同的储存箱中。



图 G1-3 物料自动化处理生产线实验装置实物图

本自动化实验教学系统全部采用 SIEMENS SIMATIC S7-300 PLC，并使它们通过 PROFIBUS 总线与上位机通信。本系统使用监控组态软件来监控整个生产线的工作情况，其网络拓扑结构图如图 G1-4 所示，其中 OS1 至 OS5 分别对应各工序的上位机，OS 为总控制站。AS1 至 AS5 分别对应各工序的控制站。

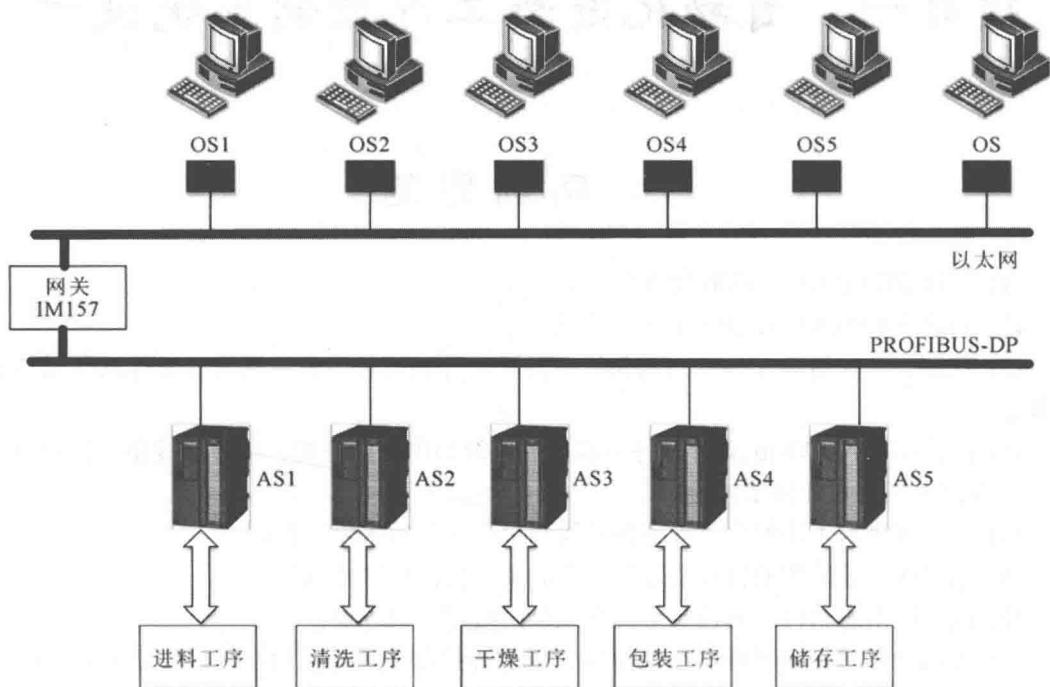


图 G1-4 自动化生产线控制系统网络拓扑结构图

课后思考题

1. 生产线采用自动化技术的目的是什么？
2. 自动化生产线控制系统采用的网络拓扑有哪几种？
3. 工业物流输送主要采用哪些方式？
4. 自动化物流输送的控制要点和技术难点有哪些？

项目一 自动化进料工序控制系统设计

1.1 实训目的

- (1) 了解 SIEMENS S7-300 硬件系统的组成。
- (2) 熟悉 SIEMENS STEP 7 的应用方法。
- (3) 理解自动化进料工序的自动化控制要求，并能够使用梯形图语言设计软件调节电机速度。
- (4) 能使用 CAD/Visio 设计软件完成控制系统的电气原理图、信号接线图、控制逻辑图、控制回路图等设计图纸的绘制。
- (5) 能完成进料工序的电气设备的试运转以及信号的采集与控制。
- (6) 能完成实验装置的自动化进料工序的硬件设计和软件编程。
- (7) 能使用组态软件完成控制组态和上位机组态的软件设计。
- (8) 熟悉计算机控制系统的组成原理、可编程控制器和工业自动化监控组态软件的应用技术。

1.2 实训原理

1.2.1 进料工序生产流程概述

实验装置的进料工序生产流程图如图 1-1 所示，功能是完成进料的控制与传输。进料工序由 1 台庖斗传输机、1 个料斗、1 台振动筛、1 台皮带传输机组成。

庖斗传输机是热压型煤、型焦工艺等工业生产中连续输送物料的专用设备。例如，在炼钢生产装置中，庖斗传输机能够将型煤平稳地由成型工段运送至炭化工段的炭化炉中，炭化成型焦。型煤进入炭化炉前的“整球率”直接影响到炭化后型焦的“整球率”，并直接影响生产商的经济效益。庖斗传输运行可靠、装载方便，广泛适用于粉料、块料的运输。

振动筛利用振动电机激振作为振动源，使物料在筛网上被抛起，同时向前做直线运动，物料从给料机中均匀地进入筛分机的进料口，通过多层筛网产生数种规格的筛上物、筛下物、分别从各自的出口排出。直线振动筛(直线筛)具有稳定可靠、消耗少、噪音低、寿命长、振型稳、筛分效率高等优点，是一种高效新型的筛分设备，广泛用于矿山、煤炭、冶炼、建材、耐火材料、轻工、化工等行业。

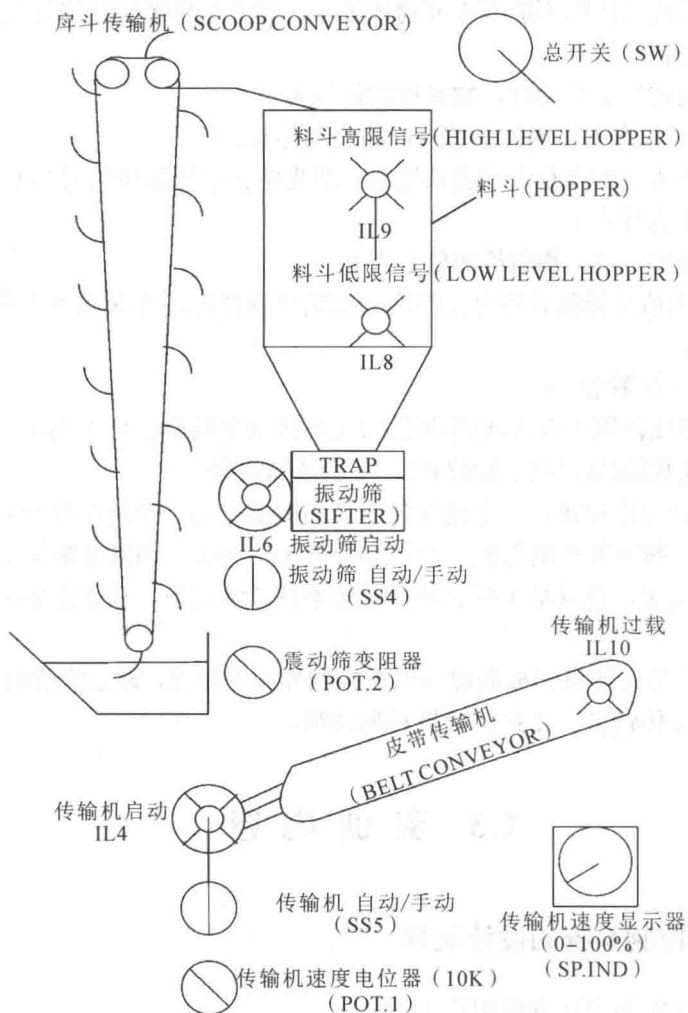


图 1-1 进料工序生产流程图

皮带输送机广泛应用于采矿、冶金、化工、铸造、建材等行业和生产流水线以及水电站建设工地和港口等生产部门，主要用来输送破碎后的物料。根据输送工艺的要求，可单台输送，也可多台组成或与其他输送设备组成水平或倾斜的输送系统。

该实验装置的自动化进料工序具有如下功能：

- (1) 料斗输送机、振动筛、皮带输送机进料速度具有自动化变频控制功能；
- (2) 料仓中的进料与出料具有连锁逻辑控制功能；
- (3) 进料工序中具有安全报警与连锁控制功能；

1.2.2 进料工序的控制要求

PLC 控制器包括具有数字量和模拟量的输入/输出模块，并且具有网络通讯的功能。组态控制界面提供了进料工序的生产流程图并通过计算机来控制进料。

启动进料工序的初始化条件如下：

- (1) 传送带的警戒范围内不能有人或物体进入, 即光电传感器输出开关信号为 1。
- (2) 变频器故障信号为 0。
- (3) 在“联网模式”下启动时, 物料检测信号为 1。

进料工序在运行状态下出现如下情况时将自动停止:

- (1) 传送带的警戒范围内有人或物体进入, 即光电传感器输出信号为 0。
- (2) 变频器故障信号为 1。
- (3) 在“联网模式”下, 物料检测信号为 0。

注: 只要将以上情况排除并符合工序启动初始化条件后, 再次按下工序启动按钮, 工序就可以再次运行。

进料工序有如下报警指示:

- (1) 传送带的警戒范围内有人或物体进入(光电传感器输出信号为 0)时, 发出防护报警。
- (2) 变频器出现故障(如缺相、短路)时, 发出故障报警。

进料工序有两处急停按钮, 一个是在传送带的侧部, 另一个是在控制界面上。当有紧急情况时, 工作人员按下其中的任何一个, 都会使工序停止。当紧急情况结束后, 工作人员拉出按下的急停按钮, 在满足工序启动初始化条件的情况下, 按下工序启动按钮就可以使工序再次启动。

庠斗传输机、皮带传输机和振动筛可以在控制界面上设置, 设定的值由 PLC 送到变频器, 由它们控制庠斗传输机、皮带传输机和振动筛。

1.3 实训内容

1.3.1 进料工序控制系统的设计流程

进料工序控制系统的设计流程如图 1-2 所示。



图 1-2 系统设计流程图

1. 分解进料工序的分解过程及设备

这部分内容可参见 1.2.1 小节进料工序生产流程概述。

将自动化进料工序分解成以下三个相互联系的部分：

- 料斗传输机的控制部分。
- 振动筛的控制部分。
- 皮带传输机的控制部分。

2. 确定进料工序的功能特性

为自动化进料工序描述动作加入说明时，应包括以下五项：

- 输入/输出(I/O)点数。
- 动作功能描述。
- 每个执行器(电磁线圈、电机、驱动器等)的动作前条件。
- 操作员接口。
- 与处理过程有关或与设备其他部分连接的接口。

3. 设计安全回路

将自动化进料工序中的每个执行器连接到一个特别紧急停止区(E-stop)。

设计安全回路的任务是：

- 确定作业之间逻辑和操作上的互锁。
- 设计硬件电路以提供执行过程中设备的手动安全性干预。
- 确定其他与安全健全运作有关的要求。
- 为 PLC 定义故障形式和再启动特性。

4. 确定操作员站

根据自动化进料功能说明书要求，创建操作员站图，包括：

- 自动化进料操作台器件(显示器、开关、指示器等)的机械布置图。
- 结合 PLC I/O 口的电气连接图。

5. 创建 PLC 配置表

根据自动化进料功能说明书要求，创建 PLC 配置图，包括：

- CPU 和 I/O 模块(包括机柜等)的机械布置图。
- 每个 CPU 和 I/O 模板(包括器件模块编号、通讯地址和 I/O 地址)的电器连接图。

6. 创建符号表

为 PLC 系统中所用的绝对地址建立符号名表，包括 I/O 信号物理值和程序中会用到的其他元素。

1.3.2 控制功能设计说明及流程图

1. 功能设计说明

自动化控制系统进料工序数字量信号统计表如表 1-1 所示，自动化控制系统进料工序模拟信号统计表如表 1-2 所示。