

工业机器人 系统设计与应用

主 编 金文兵 许妍妩 李曙生



- 智慧职教学习平台
- 微课
- 教学课件
- 教学指南(教学设计)
- 学习指南(任务单)
- 案例素材
- 题库
- 课程标准
- 授课计划



扫描二维码
了解本书的
配套资源

高等教育出版社

智能制造领域核心技术技能人才培养系列
形态一体化规划教材

工业机器人 系统设计与应用

主 编 金文兵 许妍妩 李曙生
副主编 盖克荣 洪 应 姚 蝶 迟 澄
编 委 张刚三 曹婉新 李 慧
 王晓熯 曾招声

高等教育出版社·北京

内容提要

本书主要介绍工业机器人在复杂工艺流程中的操作与编程方法,以及工业机器人系统集成的主要思路。以活塞发动机产品的自动化加工及装配过程为案例,讲述从产品生产的规划设计到配套自动化生产设备的设计方案,直至利用工业机器人与设备配合实现产品生产的完整过程,体现工业机器人系统集成的思维方式在工业中的应用,同时详细地运用丰富的图文实例讲解工业机器人的实操步骤和编程方法。全书分为6个项目,内容包括活塞发动机产品自动化生产的方案设计、控制系统及人机界面设计、激光切割模块的设计方案及应用案例、工艺模块的设计方案及应用案例、视觉检测模块的设计方案及应用案例、装配模块的设计方案及应用案例。在每个项目后附有习题,每个任务后附有思考题,方便学生对知识的温习。本书可将北京华航唯实机器人科技股份有限公司的CHL-JC-11型教学工作站作为实训载体设备进行教学工作,也可仅根据书中各个项目的内容展开教学。

本书配套丰富的教材资源,包括教学课件、微课和习题等,在书中核心知识点和技能点提供配套学习资源二维码链接,读者可以通过手机等移动端扫码观看。

本书既适合作为应用型本科、高等职业院校工业机器人技术专业、电气自动化技术等相关专业的教材或企业培训用书,又可以作为中等职业学校工业机器人技术专业进阶学习的指导用书,也可作为机电相关专业学生的实践选修课教材及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人系统设计与应用 / 金文兵, 许妍妩, 李曙生主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2018. 3

ISBN 978 - 7 - 04 - 049428 - 0

I. ①工… II. ①金… ②许… ③李… III. ①工业机器人 - 系统设计 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 025524 号

策划编辑 郭晶 责任编辑 王博 封面设计 赵阳 版式设计 杜微言
插图绘制 杜晓丹 责任校对 高歌 责任印制 尤静

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	北京佳信达欣艺术印刷有限公司	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
			http://www.hepmall.com
开本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印张	14.25	版次	2018年3月第1版
字数	280千字	印次	2018年3月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	32.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 49428-00



教育部工业机器人领域职业教育 合作项目配套教材编审委员会



主任：

金文兵

常务副主任：

许妍妩

副主任(按笔画排序)：

马明娟、王晓勇、朱蓓康、汤晓华、巫云、李曙生、杨欢、杨明辉、吴巍、宋玉红、张春芝、陈岁生、莫剑中、梁锐、蒋正炎、蔡亮、滕少锋

委员(按笔画排序)：

于雯、马海杰、王水发、王光勇、王建华、王晓嫚、王益军、方玮、孔小龙、石进水、叶晖、权宁、过磊、成萍、吕玉兰、朱志敏、朱何、朱洪雷、刘泽祥、刘徽、产文良、关彤、孙忠献、孙福才、贡海旭、杜丽萍、李卫民、李焯、李彬、李慧、杨锦忠、肖凉、吴仁君、何用辉、何瑛、迟澄、张立梅、张刚三、张瑞显、陈天炎、陈中哲、尚午晟、罗梓杰、罗隆、金鑫、周正鼎、庞浩、钟柱培、施琴、洪应、姚蝶、夏建成、夏继军、顾德祥、党丽峰、候伯林、徐明辉、黄祥源、黄鹏程、曹红、曹婉新、常辉、常镛民、盖克荣、董川川、蒋金伟、程洪涛、曾招声、曾宝莹、楼晓春、雷红华、滕今朝、廉佳玲、蔡基锋、谭乃抗

参与院校(按笔画排序)：

上海大众工业学校、山东交通职业学院、山西机电职业技术学院、广州工程技术职业学院、广州市轻工职业技术学院、无锡机电高等职业技术学院、长沙高新技术工程学校、长春市机械工业学校、东莞理工学校、北京工业职业技术学院、吉林机械工业学校、江苏省高淳中等专业学校、安徽机电职业技术学院、安徽职业技术学院、杭州职业技术学院、金华职业技术学院、南京工业职业技术学院、南京江宁高等职业学院、威海职业学院、哈尔滨职业技术学院、顺德职业技术学院、泰州职业技术学院、徐州工业职业技术学院、浙江机电职业技术学院、黄冈职业技术学院、常州刘国钧高等职业技术学校、常州轻工职业技术学院、惠州城市职业学院、福建信息职业技术学院、福建船政交通职业学院、镇江高等专科学校、镇江职业技术学院、襄阳职业技术学院

参与企业：

北京华航唯实机器人科技股份有限公司

上海 ABB 工程有限公司

上海新时达机器人有限公司



前言

2014年6月,习近平总书记在中国科学院、中国工程院院士大会上强调:“机器人革命”有望成为新一轮工业革命的一个切入点和增长点。在“中国制造2025”规划中,机器人是其十大重点发展方向之一。近年来,虽然多方因素推动着我国工业机器人的发展,但工业机器人专业人才的匮乏已经成为产业发展的瓶颈。2016年3月21日,工业和信息化部、国家发改委、财政部于正式印发的《机器人产业发展规划(2016-2020年)》,为“十三五”期间我国机器人产业发展描绘了清晰的蓝图,规划中明确了急需加强大专院校机器人相关学科建设,加大工业机器人职业培训教育力度,注重专业人才的培养,着力于应用型人才的队伍建设。

2016年,教育部为发挥企业在工业机器人领域技术优势,与北京华航唯实机器人科技股份有限公司、上海ABB工程有限公司、上海新时达机器人有限公司合作,从全国职业院校中遴选115所合作院校,共同建设15个开放式公共实训基地、100个应用人才培养中心,通过构建符合行业发展需求的工业机器人人才培养方案,促进职业院校工业机器人专业内涵建设,规范岗位课程体系和技能人才培养模式,提升教师专业技术能力。随着职业教育工业机器人专业建设的不断深入,开发适合职业教育教学的,具有产教融合特点的工业机器人专业教材成为辅助专业建设和教学的一项重要工作。在此背景下,工业机器人行业企业与职业院校深度合作,共同开发了以“理实一体、工学结合”为指导思路,采用“任务驱动教学法”和“细胞式”教学理念的工业机器人岗位课程系列教材,本书即为系列教材之一。

“工业机器人操作与编程”是工业机器人专业方向的核心课程,针对此门课程,根据中高职在授课时的难易程度差异,编写了包括本书在内的共三册工业机器人操作与编程学习用书(另外两册为《工业机器人操作与编程》、《工业机器人工作站操作与应用》)。本书介绍工业机器人系统在复杂工艺流程中的操作与编程方法,并讲解工业机器人系统设计的主要思路,以活塞发动机产品的自动化加工及装配过程为案例,介绍从产品生产的规划设计,到配套自动化生产设备的设计方案,直至利用机器人与设备配合实现产品生产的完整过程,体现了工业机器人系统集成的思维方式在工业中的应用。内容上,根据中高职教学特色将工业机器人操作和编程相关的理论知识和实操任务同时整合到教学活动中,理论基础与实训教学有效衔接,以培养学生的综合职业能力。

本书由浙江机电职业技术学院、泰州职业技术学院、北京工业职业技术学院、安徽职业技术学院、北京华航唯实机器人科技股份有限公司等校企联合开发。浙江机电职业技术学院金文兵、北京华航唯实机器人科技股份有限公司许妍妩、泰州职业技术学院李曙生任主编,北京工业职业技术学院盖克荣、安徽职业技术学院洪应、北京华航唯实机器人科技股份有限公司姚蝶、迟澄任副主编,全书由姚蝶统稿。

本书在编写过程中还得到了吉林机械工业学校张刚三、上海大众工业学校曹婉新等专家教师及北京华航唯实机器人科技股份有限公司李慧、王晓慢、曾招声等工程师的支持和帮助,同时

还参阅了部分相关教材及技术文献内容,在此对各位专家、工程师和文献作者一并表示衷心的感谢。

北京华航唯实机器人科技股份有限公司为本书开发了丰富的配套教学资源,包括教学课件、微课和习题等,并在书中相应位置做了资源标记,读者可以通过手机等移动终端扫码观看。

编者水平有限,书中不足之处,恳请广大读者给予批评指正。

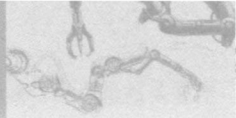
编 者
2017 年 10 月

目 录

项目一 活塞发动机产品自动化生产的 方案设计	1	2.1.3 PLC 硬件的总体配置	27
学习任务	1	思考题	28
学习目标	1	任务 2.2 人机交互界面规划及设计	28
任务 1.1 认识活塞发动机产品	3	2.2.1 人机交互界面 HMI	28
1.1.1 活塞发动机产品的结构	3	2.2.2 人机界面的功能设计	29
1.1.2 活塞发动机的工作原理	3	2.2.3 HMI 与 PLC 的通信	35
思考题	5	2.2.4 任务操作——PLC 程序的 上传	39
任务 1.2 规划活塞发动机的生产步骤	5	2.2.5 任务操作——PLC 程序的 下载	42
1.2.1 规划零部件的加工过程	5	2.2.6 任务操作——HMI 程序的 下载	44
1.2.2 规划零部件的检测入库过程	6	2.2.7 任务操作——添加新的 HMI 画面	45
1.2.3 规划装配过程	7	思考题	52
1.2.4 活塞发动机的完整生产步骤	8	习题	52
思考题	8	项目三 激光切割模块的设计方案及 应用案例	53
任务 1.3 活塞发动机生产设备的 总体设计	8	学习任务	53
1.3.1 生产设备的布局形式	9	学习目标	53
1.3.2 工业机器人的选型	9	任务 3.1 激光切割模块的设计方案	55
1.3.3 设备功能模块的划分	11	3.1.1 设定活塞激光切割工艺 流程	55
1.3.4 工业机器人的末端 工具及工具快换	12	3.1.2 激光切割模块的结构	55
1.3.5 控制系统及通信方式	15	3.1.3 激光切割模块的加工步骤	56
1.3.6 操作面板及按键	17	3.1.4 激光切割工艺	56
1.3.7 滑台模块的结构	18	思考题	58
思考题	19	任务 3.2 激光切割活塞原料	58
习题	19	3.2.1 任务操作——工业机器人 在导轨上的移动	58
项目二 控制系统及人机界面设计	21	3.2.2 任务操作——工业机器人 末端工具的更换	63
学习任务	21		
学习目标	21		
任务 2.1 PLC 系统选型和设计	23		
2.1.1 PLC 简介	23		
2.1.2 PLC 选型	23		

3.2.3 垂直料库及传送装置的运行方式	69	4.3.2 任务操作——活塞零件打磨准备	100
3.2.4 工业机器人控制器与 PLC 的 I/O 通信	72	4.3.3 去毛刺设备的关闭与打磨设备的开启	101
3.2.5 任务操作——活塞原料的搬运	73	4.3.4 任务操作——活塞零件打磨加工	101
3.2.6 激光切割台吸盘的启动过程	77	4.3.5 打磨设备的关闭与抛光设备的开启	104
3.2.7 任务操作——激光切割加工	78	思考题	104
3.2.8 任务操作——切割废料剔除	82	任务 4.4 活塞零件抛光加工工艺	105
3.2.9 激光切割台吸盘的释放过程	87	4.4.1 抛光工艺	105
3.2.10 离线编程实现激光切割加工	87	4.4.2 任务操作——活塞零件的抛光	105
思考题	88	4.4.3 抛光设备的关闭过程	108
习题	88	思考题	108
项目四 工艺模块的设计方案及应用案例	89	习题	109
学习任务	89	项目五 视觉检测模块的设计方案及应用案例	111
学习目标	89	学习任务	111
任务 4.1 工艺模块的设计方案	91	学习目标	111
4.1.1 设定活塞零件精加工工艺	91	任务 5.1 视觉检测模块的设计方案	113
4.1.2 工艺模块的结构	91	5.1.1 设定活塞零件视觉检测和扫码入库工艺流程	113
4.1.3 工艺模块的加工步骤	91	5.1.2 视觉检测系统的选型	113
思考题	92	5.1.3 视觉检测模块的结构	115
任务 4.2 活塞零件去毛刺加工工艺	92	5.1.4 视觉检测模块的工艺步骤	115
4.2.1 去毛刺工艺	92	思考题	115
4.2.2 任务操作——活塞零件去毛刺准备	93	任务 5.2 活塞零件的视觉检测	116
4.2.3 去毛刺设备的开启过程	97	5.2.1 任务操作——拾取活塞到暂存工装位置	116
4.2.4 任务操作——活塞零件去毛刺加工	98	5.2.2 暂存工装张开状态的确认	117
思考题	99	5.2.3 任务操作——将活塞放入暂存工装位置	118
任务 4.3 活塞零件打磨加工工艺	99	5.2.4 暂存工装夹住活塞零件	120
4.3.1 打磨工艺	99	5.2.5 任务操作——更换吸盘工具拾取活塞	121
		5.2.6 暂存工装的张开过程	124

5.2.7	任务操作——活塞进入视觉检测准备位置	125	6.2.3	任务操作——搬运连杆	158
5.2.8	视觉检测显示屏的功能	128	6.2.4	三爪气缸装卡连杆的过程	164
5.2.9	任务操作——设置视觉检测图像模板	128	6.2.5	任务操作——搬运活塞零件	166
5.2.10	任务操作——视觉检测合格/不合格产品	134	6.2.6	手指气缸固定活塞的过程	171
5.2.11	视觉检测及判断过程	136	6.2.7	任务操作——搬运活塞销钉及装配活塞销钉	173
5.2.12	视觉检测结果的获取	138	6.2.8	任务操作——搬运活塞连杆组件至暂放位置	181
	思考题	139	6.2.9	活塞连杆装配工装的张开过程	185
任务 5.3	合格产品贴标签扫码入库	139		思考题	187
5.3.1	任务操作——工业机器人自动贴标签功能的实现	139	任务 6.3	活塞发动机总装	187
5.3.2	任务操作——工业机器人扫码信息入库功能的实现	145	6.3.1	任务操作——搬运缸体	187
5.3.3	扫码信息入库过程	147	6.3.2	压紧气缸和滑台气缸的复位过程	192
5.3.4	任务操作——活塞搬运	147	6.3.3	任务操作——装配工装定位装卡缸体	192
	思考题	150	6.3.4	曲轴旋转至装配位置	195
	习题	150	6.3.5	任务操作——搬运活塞连杆组件并装配	196
项目六	装配模块的设计方案及应用案例	151	6.3.6	安装曲轴销组装成品	201
	学习任务	151	6.3.7	任务操作——搬运成品	202
	学习目标	151	6.3.8	压紧气缸和滑台气缸的再次复位	206
任务 6.1	装配模块的设计方案	153	6.3.9	任务操作——成品入库	206
6.1.1	设定活塞发动机的装配工艺流程	153		思考题	209
6.1.2	装配模块的结构	153	习题		209
6.1.3	装配模块的装配步骤	154	附录		210
	思考题	155	附录 I	工业机器人 I/O 信号表	210
任务 6.2	活塞组件装配	155	附录 II	示教编程点位对照表	213
6.2.1	任务操作——活塞进入装配准备位置	155	参考文献		215
6.2.2	活塞入库的工位检测	157			



项目一 活塞发动机产品自动化生产的方案设计



本书以活塞发动机产品的自动化加工及装配过程为主线,讲述了产品生产方案设计、配套自动化生产设备设计以及工业机器人与设备配合实现产品生产的完整过程,体现了工业机器人的系统集成应用。本项目主要从加工对象——活塞发动机出发,介绍加工对象,并规划其生产步骤,说明对应自动化生产设备的总体设计思路。

学习任务

- 任务 1.1 认识活塞发动机产品
- 任务 1.2 规划活塞发动机的生产步骤
- 任务 1.3 活塞发动机生产设备的总体设计

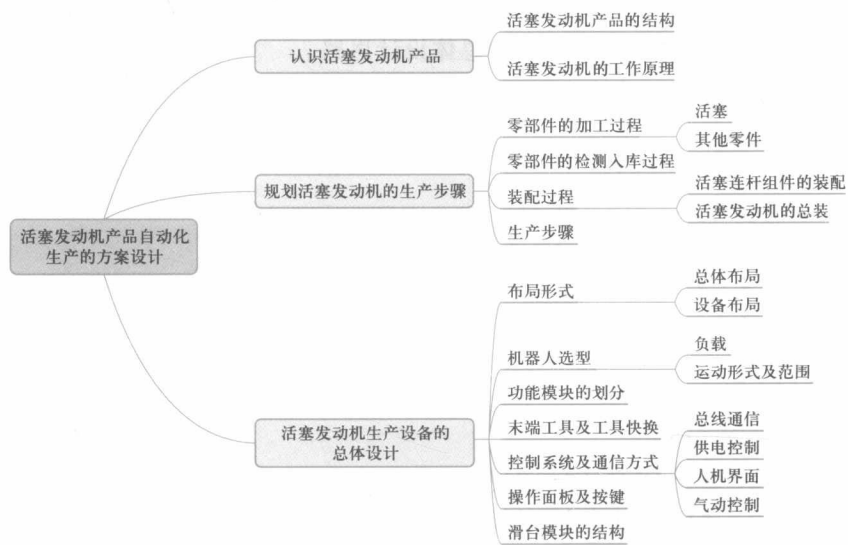
学习目标

■ 知识目标

- 了解活塞发动机产品结构及工作原理
- 了解活塞发动机生产步骤的规划

■ 技能目标

- 掌握活塞发动机生产设备的总体设计思路



任务 1.1 认识活塞发动机产品

1.1.1 活塞发动机产品的结构

活塞发动机一般是指活塞式燃油发动机,是通过燃油燃烧的能量转化为动能的发动机。真实的活塞发动机主要由曲轴、连杆、活塞、气缸、分气机构和供油系统等部件组成,如图 1-1 所示。

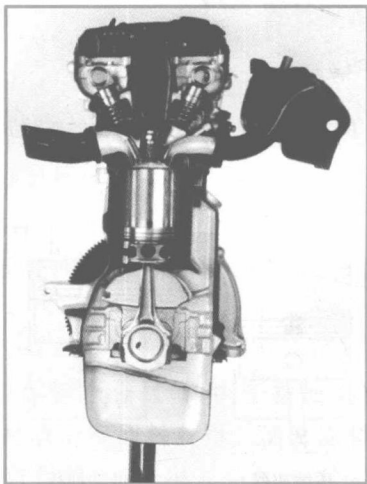


图 1-1 活塞发动机

活塞发动机的机械结构较为复杂,相应的加工工艺和流程也十分复杂。为了方便模拟其生产过程,简化加工工艺,本书将真实的活塞发动机简化,简化后的活塞发动机产品结构组成如图 1-2 所示,主要包括活塞、连杆、活塞销、曲轴销和缸体(已内置曲轴),通过活塞在缸体内做往复运动带动连杆推动曲轴旋转。

1.1.2 活塞发动机的工作原理

真实的活塞发动机利用燃油在气缸里燃烧膨胀,推动活塞下行带动曲轴旋转,以此形式输出动力,它利用一个或者多个活塞将压力所做的功转换成旋转动能。发动机大多为四冲程,即一个气缸完成一个工作循环,活塞在缸体内要依次经过进气、压缩、燃烧做功和排气四个冲程,如图 1-3 所示。

发动机开始工作时,首先进入“进气冲程”。气缸顶部的进气门打开,排气门关闭,活塞从上止点向下滑动到下止点,缸体容积逐渐增大,气压变为负压状态。于是新鲜的汽油和空气的混合气体通过打开的进气门被吸入气缸内。

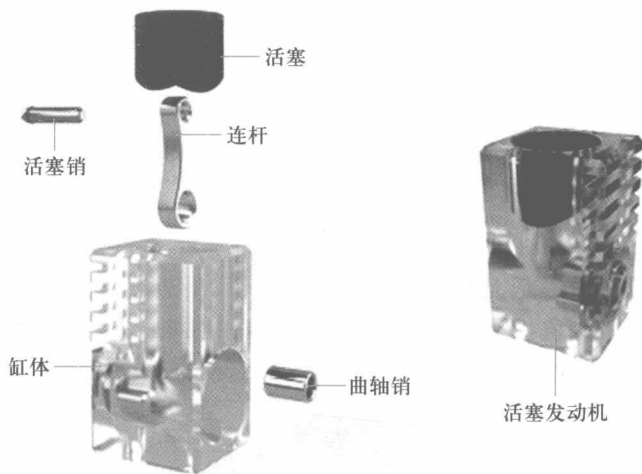


图 1-2 简化活塞发动机的结构

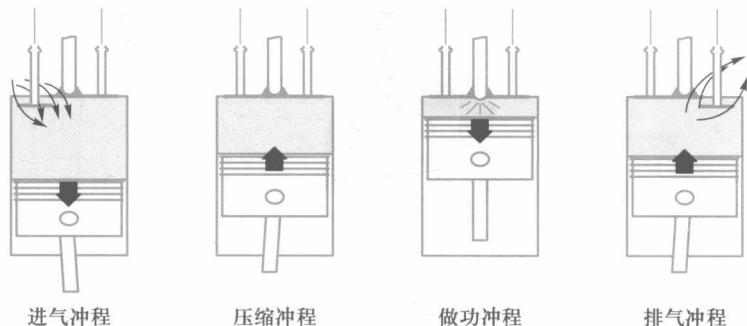


图 1-3 发动机的工作循环

进气冲程完毕后,开始“压缩冲程”。这时曲轴在飞轮(未画出)的惯性下带动连杆继续运动,把活塞由下止点向上推动。这时进气门也和排气门一样严密关闭,缸体内的容积逐渐减少,混合气体受到活塞的强烈压缩。此过程是为后续做功冲程做准备。气体压缩程度越大,发动机产生的功率也就越大。

压缩冲程完毕后,进入“做功冲程”。在压缩冲程即将结束,活塞接近上止点时,缸体头上的火花塞通过高压电产生了电火花,将混合气体点燃,活塞在燃气的强大压力作用下,向下止点迅速运动,推动连杆也往下运动,连杆便带动曲轴旋转起来。

做功冲程结束后,由于运动惯性曲轴继续旋转,使活塞由下止点向上运动。这时进气门仍旧关闭,而排气门打开,燃烧后的废气便通过排气门向外排出。当活塞到达上止点时,废气已被排尽。然后排气门关闭,进气门打开,活塞又由上止点下行,开始了新的一次循环。



思考题

填空题

1. 简化后的活塞发动机主要由活塞、()、活塞销、曲轴销和()组成。
2. 活塞发动机工作的四个冲程分别为()、()、()、()。



任务 1.2 规划活塞发动机的生产步骤

1.2.1 规划零部件的加工过程

通过对 1.1.1 的学习我们已经知道,要想生产出一个活塞发动机,需要的零部件有活塞、连杆、活塞销、曲轴销和缸体。在进行装配之前,需先保证这些零部件已加工完成并达到装配要求。现将这些零部件的获得方式规划如下。

1. 活塞

活塞为自制件,采用铝合金材料,由于被加工表面为空间曲面,所以可以采用激光切割柱状活塞原料获得。活塞原料如图 1-4 所示,黑色的上半部分为最终需要的活塞,银灰色的下半部分为激光切割后的废料。

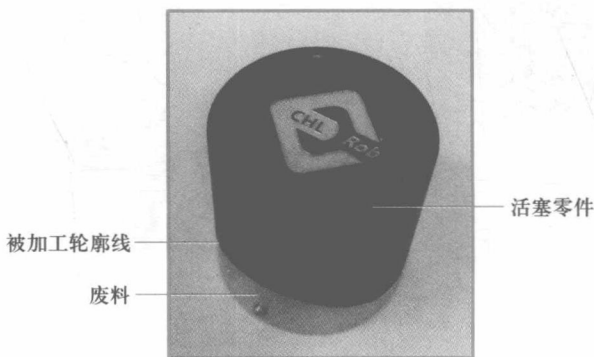


图 1-4 活塞原料

因此,在生产过程中需包含活塞的激光切割加工过程,切割后的活塞零部件加工表面和圆柱面交线会形成尖锐的边,需对此边进行去毛刺、打磨和抛光工艺处理,之后才能够达到装配要求。

2. 连杆

连杆为外购件,采用铝合金材料,其上配有曲轴销孔和活塞销孔,如图 1-5 所示。



图 1-5 连杆

3. 活塞销

活塞销为外购件,采用黄铜材料,两端设计有导向倒角,一端设计有固定橡胶圈,如图 1-6 所示。

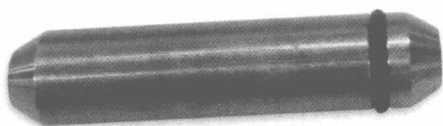


图 1-6 活塞销

4. 曲轴销

曲轴销为外购件,采用 45 号钢材料,两端设计有导向倒角,如图 1-7 所示。



图 1-7 曲轴销

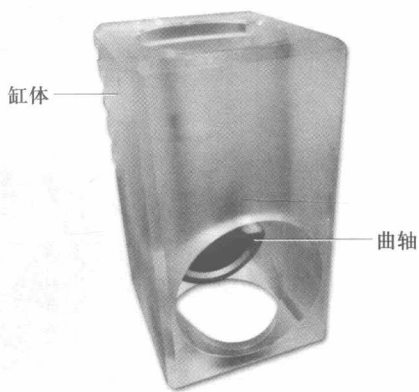


图 1-8 缸体

5. 缸体

缸体为外购件,采用有机玻璃材料,安装有铝合金材质的曲轴,配套滚珠轴承使其旋转自如,如图 1-8 所示。

1.2.2 规划零部件的检测入库过程

零部件在加工过程中可能会出现不合格品,需要通过检测来判断。传统的人工检测容易出现漏检、错检等情况,且效率不高。工业上已经广

泛应用机器视觉来检测产品质量是否达标。

活塞零件在加工完成后,需要通过视觉检测判断零件是否合格。在实际生产中会检测是否有裂纹、瑕疵等,这里的检测的目标模拟为活塞顶部是否有 LOGO 形状,如图 1-9 所示。如有则为合格品,可以进入后面的流程,否则将归为废料。

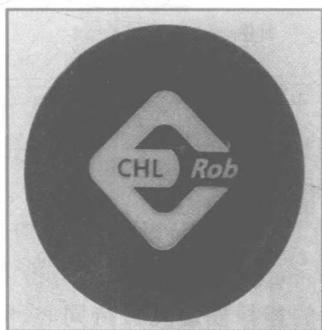


图 1-9 活塞顶部的 LOGO

合格的活塞产品需要贴上标签,通过扫码机扫码记录信息后,入库等待装配时被取用,如图 1-10 所示。

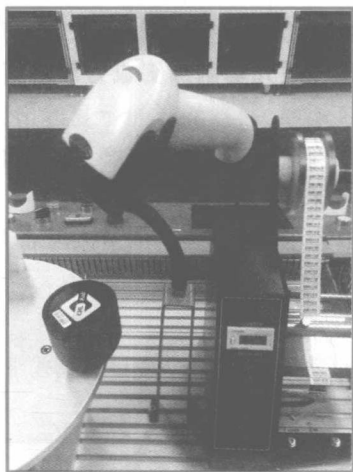


图 1-10 扫码记录合格品标签信息

1.2.3 规划装配过程

活塞发动机的装配步骤如图 1-11 所示,分为活塞连杆组件装配和活塞发动机总装两个阶段。

1. 活塞连杆组件的装配

将连杆的小端装入活塞,保证连杆上的安装孔与活塞的安装孔同心,把活塞销装入安装孔内将两个零件固定,活塞连杆组件装配完成。

2. 活塞发动机的总装

把装配完成的活塞连杆组件从缸体上端放入,调整缸体内曲轴孔的



活塞发动机产品的生产过程



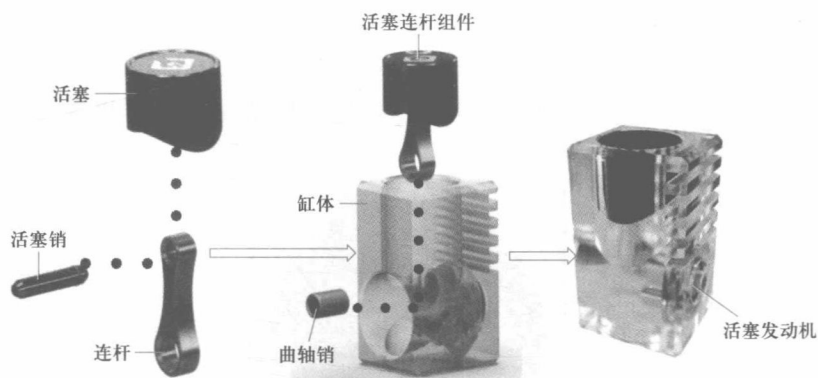


图 1-11 活塞发动机装配的步骤

位置使其与连杆组件中的连杆安装孔保持同心。压入曲轴销,将活塞连杆组件与缸体连接。活塞发动机总成装配完成。

1.2.4 活塞发动机的完整生产步骤

通过上文的规划,可最终确定活塞发动机的生产步骤如下。

1. 活塞激光切割加工

将柱状活塞原料通过激光切割加工成为活塞零件。

2. 活塞零件精加工

将切割后的活塞零件进行去毛刺、打磨、抛光的精加工。

3. 活塞零件视觉检测和扫码入库

视觉检测活塞零件顶部图案,合格的活塞零件贴条形码扫码入库,等待装配。

4. 活塞发动机产品的装配

活塞发动机产品的装配分为两个步骤:活塞连杆组件装配及活塞发动机总装。



思考题

简答题

简述活塞发动机生产设备中活塞发动机的生产步骤。



任务 1.3 活塞发动机生产设备的总体设计

根据发动机的生产步骤要求以及生产产品对象的尺寸、质量、结构等属性,可以对生产设备进行初步的总体设计,主要包括设备布局形式、功