

陕西科技大学

硕士学位论文

全自动苹果去皮机的设计与仿真

姓名：张建宁

申请学位级别：硕士

专业：机械制造及其自动化

指导教师：陈海峰

20090501

全自动苹果去皮机的设计与仿真

摘 要

随着我国水果罐头产业的发展以及世界其他国家水果罐头消费的增长,我国水果罐头产品出口的发展面临着良好的机遇。尽管高新技术在我国果品加工业得到了逐步应用,加工装备水平也得到了明显提高,但由于缺乏具有自主知识产权的核心关键技术与关键制造技术,造成了我国果品加工业总体加工技术与加工装备制造技术水平偏低。目前罐头加工领域存在的最大问题就是加工过程中自动化、连续化程度低,对先进技术的消化能力差。去皮设备大都停留在半自动程度,靠人工将苹果逐个插到固定针上,不仅生产效率低,而且容易造成工伤事故;因此设计开发一种全自动苹果去皮机能有效的解决加工过程自动化及连续化水平低的问题,对其它果品加工同样适用。

设计的主要内容包括:

(1) 整机方案确定: 包括插果机构、削皮机构、切块机构、卸载机构、圆盘插针组件以及机架。

(2) 供料部分设计: 供料装置给出了概念性设计以及控制实现方案; 供料装置采用振动输送方式对苹果进行输送,通过传感器及计算机图像识别软件对苹果的放置情况进行识别,并通过气缸驱动的方式将未达到放置要求的苹果进行剔除。

(3) 插果机构设计: 插果机构安装于去皮机圆盘上方的机架上,与苹果供料装置衔接,通过插果机构压板及托板的协同运动可以把苹果置插于苹果插针上,插果机构采用气缸作为驱动元件,因气缸以洁净的空气作为介质,故可满足食品加工的卫生要求。并可实现无人看守的自动供料及插果动作,保证了去皮工序的自动化。

(4) 削皮机构设计: 去皮机上各个部件都在可编程序控制器以及运动控制器控制下协同运动。削皮机构以运动控制器作为控制元件,以实现精确的削皮轨迹控制。

(5) 运动仿真及关键部分有限元分析: 本文将所设计的苹果去皮机在 Pro/Engineer 中建立三维模型,并且对此机构的运动进行仿真,从而对整个机器工作过程进行详细演示以及对机器各个部件进行干涉分析;本文还利

用有限元分析软件 ANSYS 对部分零件进行了结构分析和优化设计,通过对零件的有限元分析得出了零件设计的最优方案,从而为机器生产效率的提高打下基础。

关键词: 全自动苹果去皮机, 自动供料, Pro/E, ANSYS, 有限元分析, 运动仿真, 插果机构

DESIGN AND SIMULATION OF THE FULL AUTOMATIC APPLE PEELING MACHINE

ABSTRACT

Along with the developing of our country's canned fruit industry and the increasing of other country's consumers to it, our country's canned fruit export developing is facing a good opportunity. Although high and new technology is coming into use in our country's fruit process industry, and the level of the processing equipment has been improved obviously, but for the lack of the core key technology and key manufacturing method provided with independent intellectual property rights our country's general processing technology of fruit processing industry and the manufacturing engineering of the processing equipment is on the low side. At present the most problem in the fruit processing field are a low degree of automation and continuation and a low possibility of assimilating advanced technology. Peeling equipments mostly rest on the degree of automatic-manual, depending on manual work to insert apple to the fixation pins. Not only production efficiency is low but also it is easy to lead to industrial accident. Therefore designing and developing a kind of full automatic apple peeling machine can effectively solve the problem of low level of processing automation and continuation. At the same time it is also applicable for other fruit processing.

The content of the design mostly includes the following aspects.

(1) Complete machine blue print's confirming. Fruit-insert framework, peeling framework, cutting framework, uninstalling framework, disk-pin subassembly and main frame are included.

(2) Design of the feeding part. An idea design and a blue print of control system is provided. Feed installation feeds apples by means of quiver, and identifies the placement instance of apples using sensor and computer image identify software, and eliminates the apples that miss the need of placement via cylinder.

(3) Design of the fruit-insert framework. Fruit-insert framework is installed on the frame upper of the peeling machine disk, connecting the apple feeding system. Through the synergy movement of the pressing plate and bearing plate of the fruit-insert framework it can make apples stucked on the contact pin. Fruit-insert framework uses cylinder as driven element, which uses clean air as medium, so it can satisfy the needs for hygiene of food processing. The full automatic apple peeling machine and its fruit-insert framework can realize automatic feeding and fruit-insert, and assure automation of the peeling off working procedure.

(4) Design of the peeling framework. Each part of the peeling machine cooperates with each other and moves under the control of PLC and motion controller. Peeling machine uses the motion controller as control element in order to realize exact paring contrail control.

(5) Motion simulation and finite element analysis of the key part. Three dimensional model of the apple peeling machine is created in Pro/Engineer and the framework's movement is simulated in order to demonstrate the whole machine's working process detail and to do the interference analysis of the parts of this machine. Structural analysis and optimum design to some parts are done using the finite element analysis software ANSYS. Through the finite element analysis to the part the optimal decision of the part design is got, thereby it makes a good foundation for the increasing of the machine's production efficiency.

KEY WORDS: full automatic apple peeling machine, automatic feeding system, Pro/E, ANSYS, the finite element analysis, motion simulation, fruit-insert mechanism

原创性声明及关于学位论文使用授权的声明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：张新 日期：2009年5月

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解陕西科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权陕西科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：张新 导师签名：陈正华 日期：2009年5月

1 绪论

1.1 本课题研究的背景和意义

随着我苹果的产量大大增加,苹果加工业也有了一定的发展,但是,我国的苹果加工在总体上还远远落后于苹果生产的发展。由于各级政府的重视,苹果种植业发展很快。随着苹果种植技术的推广普及以及优良苹果品种的培育和引进,种植面积不断扩大,苹果总产量逐年提高。苹果是我国第一大水果,也是我国 11 大优势农产品之一,目前我国的苹果产量居世界第 1 位,占世界总产量的 50%左右。我国有着丰富的苹果资源,据 2005 年调查统计,我国年产量已达 2500 万吨^[1],但主要用于鲜食,苹果加工率极低,由于缺乏先进的果品加工机械,不能及时加工处理,导致每年约 25% 的水果腐烂变质,经济损失数以亿计,因此苹果加工是我国苹果资源合理利用的重要课题。苹果通过加工既可以解决苹果鲜销市场卖果难的问题,同时又可以实现加工增值。

在苹果加工产品诸如苹果罐头及苹果干等^[2]的加工工艺中,去皮是必不可少的一道工序,苹果经过去皮工序去除表皮上残留的农药、污渍等。苹果去皮方法有:手工去皮、半机械及机械去皮、蒸汽去皮和碱液去皮等^[3]。目前在苹果加工行业中广泛使用的苹果去皮机均为半自动,即由人工上果,机器自动去皮。为保证去皮的顺利进行,必须为每台去皮机配备人员,用手将苹果插在苹果削皮工位处。如图 1-1,为某苹果加工厂家的去皮机械工作现场,须由人工将苹果放于平板上的凹槽内,再由机器自动去皮。显然由

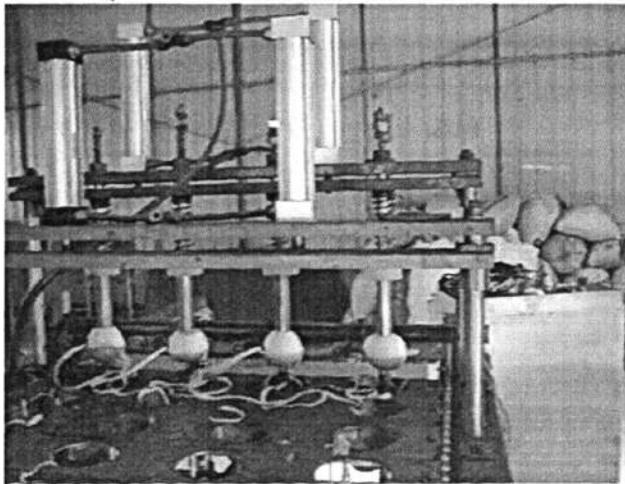


图 1-1 苹果去皮加工现场
Fig1-1 The scene of apple peeling off

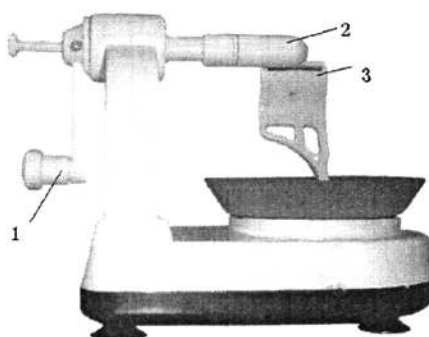
人工上果费时、费力、劳动强度大,而且容易产生差错乃至事故。因此苹果加工中的去皮设备自动化程度低成为了苹果加工业发展的一个制约因素。为解决上述技术的不足而提供一种降低劳动强度、提高劳动效率和降低事故率,故而研究开发一种自动化程度高、

功能性强的苹果去皮机械。

1.2 苹果去皮机的发展与现状

当前苹果去皮机大体分为如下几类：

(1) 单果手动削皮机，如图 1-2 所示。其插针冒内有用用于插苹果的插针，机器不用时插针冒用于保护作用，防止扎伤。使用时将苹果插与插针上，手摇摇柄，插针带动苹果转动同时将苹果向右推进，其仿形刀具在弹簧的作用下紧压于苹果表皮，苹果一边转动，一边削皮。该机用于个人及家庭使用，由于其削皮速度极慢，劳动强度高，不宜生产使用；

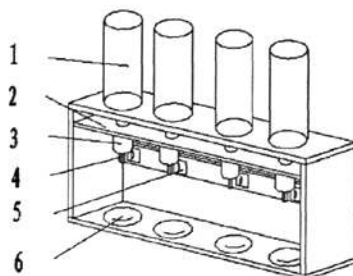


1. 摇柄 2. 插针冒 3. 仿形刀

图 1-2 第一类去皮机外观图

Fig1-1 Appearance of the first sort of peeling off machine

(2) 多果自动去皮机，如图 1-3 所示。首先由人工将苹果以苹果梗垂直于水平面的方向放置于苹果槽内，气缸推杆伸出带动升降板及其上的电动机、插针等一同向下移动，直到将苹果插于插针，之后气缸推杆回缩，将苹果提升至削皮刀高度，电动机带动插针、苹果一起旋转，直到完成苹果削皮工作，最后由人工将苹果卸下。该类去皮机每台机器至少一人、甚至两人负责放果和卸果，该机之劳动强度属三类去皮机中最大者，生产效率较低^[4]。



1.气缸 2.升降板 3.电动机 4.插针 5.削皮刀 6.苹果槽

图 1-3 第二类去皮机示意图

Fig1-3 The second sort of peel off machine

(3) 单果自动去皮机，其工作原理如图 1-4 所示。该类去皮机的转盘上设有数个苹

果转动插针，均匀分布于圆盘的圆周之内。首先由人工将苹果插于苹果插针，圆盘转动一定角度，苹果被送于去皮工位，完成去皮工作，圆盘再转动一定角度，苹果完成切片工作，圆盘继续转动，苹果被送于去核工位，苹果核在该工位被除去，至此完成一个工作循环。此类去皮机较（1）去皮速度快，但其仍然依靠人工上果，生产速度多由人工的熟练程度决定；

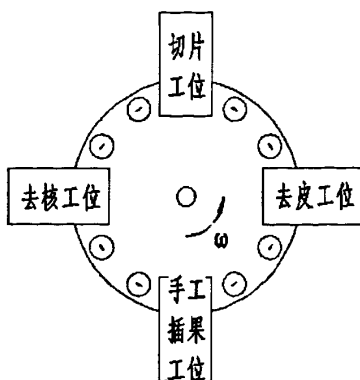
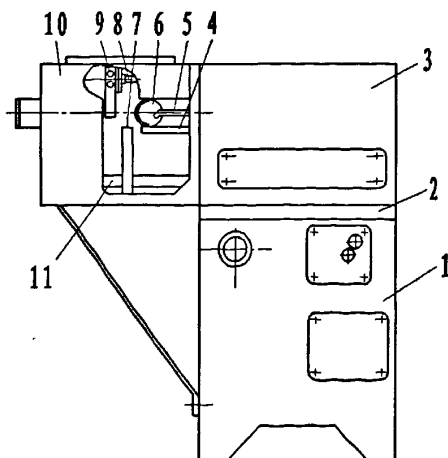


图 1-4 第三类去皮机原理图
Fig1-4 Principle chart of the third sort of peel off machine

第三类去皮机是目前企业所用比较流行的机种，其产品有 6GY-300 型苹果削皮、挖核、制瓣机^[9]。该机主要由箱体、中间座、送进机构、走刀机构和夹具、液压及机械传动机构等组成。其外形结构见图 1-5 所示。该机在 90 年代初期可以说是一台自动化程度较高，加工质量较好的设备，它可以在一条主轴线上完成削皮、挖核和制瓣三道工序。



1.油箱 2.中间座 3.箱体 4.走刀驱动齿条 5.果叉 6.走刀机构 7.扎钉 8.夹具驱动杆 9.夹具组合
10.外箱体 11.转轴

图 1-5 6GY-300 型苹果削皮、挖核、制瓣机
Fig1-5 6GY-300 apple peel、dig pit、 make petal machine

削皮采用仿形机构，削皮刀的走刀轨迹为一固定的局部圆弧，刀具具有足够的浮动量，用以弥补固定圆弧轨迹与果实外形的差异，从而保证了对同一品种的多数果实的均匀削皮。制瓣采用固定刀座，当削皮结束后，机械手夹果离开果叉，推向破瓣刀，根据要求将果实破为两瓣或四瓣。该机的挖核亦采用仿形机构，挖核刀固定在转轴上并与破瓣刀在同一平面，在破瓣刀切瓣的过程同时进入果内挖核，为了保证果实在加工中处于正确位置，而且果形大小不受影响，该机采用了弹簧加压的机械手可靠地夹持果实和完成上果动作。

随着控制技术以及传感器技术的日新月异，实现该功能完全不必采用如此繁杂的机械传动系统，而是利用市场已有的各种控制电机，传感器以及传动零、组件来完成该种机械的功能。这样既省去了一大笔传统传动机械的维护费用又大大提高了机械的工作效率，使得生产企业的成本降低的同时又节约了劳动力，可谓一举多得。

1.3 本课题研究的内容

本课题主要研究苹果去皮系统中的苹果去皮部分，参考 6GY-300 型去皮机，设计出用于苹果去皮、切瓣、去核的苹果去皮机，并给出各执行部件的选型计算以及关键工作部件的结构分析，具体可有如下几个方面：

(1) 去皮机的结构、功能设计；包括去皮机工作方式的选择，供料机构的设计和控制实现，主轴、圆盘的设计，主轴腔的设计，插果机构的设计，削皮机构的设计，切块机构的设计。

(2) 主要执行元件的选型；包括圆盘主轴伺服电动机的选择，插果机构的导柱弹簧的选择，插果机构执行元件——气缸的选择。

(3) 整机的仿真及干涉分析；利用 Pro/E 软件对整机进行了虚拟装配，运动仿真和干涉分析，并保存动画，可以更好的了解去皮机的工作过程。

(4) 插果机构关键部件——压板的有限元分析与优化设计。利用有限元分析软件 ANSYS 具体分析了压板在工作过程中的受力情况，对压板的初始设计提出不足之处并给出相应改进方案，通过对压板的优化设计得到较理想的尺寸，最后给出改进后的压板的受力情况。

1.4 本章小结

本章由当前我国苹果加工行业中苹果去皮加工的发展状况引出了研究设计苹果去皮机的意义，并详细介绍了苹果去皮机的发展状况，最后给出了本课题的主要研究内容。

2 苹果去皮机结构设计

本章首先提出苹果去皮供料方案，为去皮工序做好准备，并对该方案的具体实施过程作了详尽说明；继而针对过去苹果去皮机的不足，提出改进方案，最后给出本设计课题的关键部分——苹果去皮机的设计。

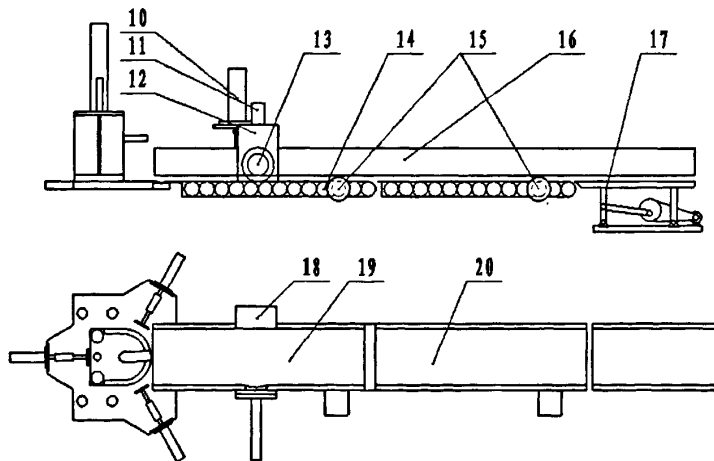
2.1 苹果输送装置及 PLC 程序设计

2.1.1 输送装置总体设计

单果自动去皮机一般采用圆盘式供果方式，即圆盘圆周上等距分布若干苹果插针，圆盘间歇转动，以将插于插针上的苹果送至去皮工位。本课题供料系统参考单果圆盘式自动去皮机的工作原理，旨在实现无人工全自动上果，应完成如下任务：

- (1) 将绝大多数苹果以苹果中心轴竖直方向放置，以便于插果机构顺利将苹果沿轴线方向插于苹果插针上，以利于后续去核工序顺利进行。
- (2) 自动剔除苹果果梗非垂直于水平面^[6]的苹果，使其重新回到料仓。
- (3) 自动将苹果沿轴线方向插于苹果插针上。

供料系统总体结构如图 2-1 所示，振动装置与苹果料仓衔接并以一定频率和方向振动以将苹果送上慢速输送带 20，两侧挡板的距离只能允许苹果以单列通过，苹果在通过



10-苹果挡板气缸；11-数码摄像装置；12-固定架；13-推出气缸；14-输送带滚轮；15-输送带驱动电机；16-侧挡板；17-震动装置；18-剔除苹果出口；19-输送带（快）；20-输送带（慢）

图 2-1 供料机构示意图（上：主视图；下：俯视图）

Fig2-1 Sketch map of the feeding material mechanism (up: main view. Down: bow view)

慢速输送带滑上快速输送带后各苹果间保持一定距离向前输送，在到达固定架中央时，苹果挡板气缸 10 推杆处于伸出状态，此处光电传感器^[7]发出信号，经 PLC 程序计算并发出命令，各传送带停止传送，数码摄像装置拍下该苹果的俯视图像并经计算机视觉信息处理系统^[8]判断处理，如苹果果梗垂直于水平面，则苹果挡板气缸 10 推杆回缩，以使

该苹果通过，各传送带恢复传送；如苹果果梗非垂直于水平面，则推出气缸 13 推杆伸出以将该苹果推出回到苹果料仓重新接受选择，同时各传送带恢复传送。

根据苹果传送装置工艺要求：

在固定架 12 与支架 4 处判断有无苹果均使用光传感器。在苹果经过时，光传感器开关量发生改变。在固定架 12 处要求：两传送带停止传送，数码摄像装置摄取苹果图像以进行后续处理。在支架 4 处要求：对心气缸推杆伸出并迅速缩回，随即下压气缸推杆伸出。

传送装置工艺流程图如图 2-2 所示。

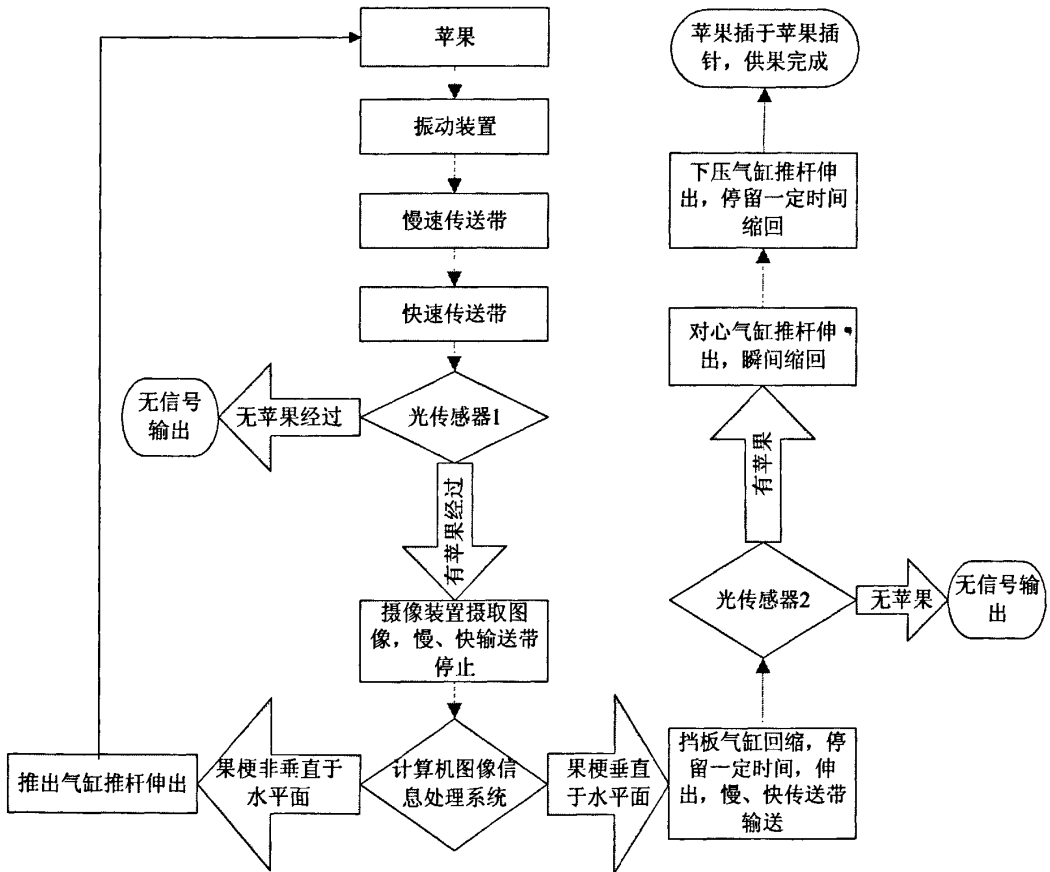


图 2-2 传送装置工艺流程图
Fig2-2 Work flow chart of transmission equipment

2.1.2 PLC 控制系统方案

根据工艺要求，各气缸均为双作用气缸，气缸活塞上均装有永久磁环^[9]，利用直接安装在缸筒上的电子舌簧式或磁-电式磁性开关来检测气缸活塞位置，使气缸行程位置检测方便、结构紧凑。控制系统中共有 24 个 I/O 点，其中 17 个输入点，7 个输出点。

输入量分别是：推出气缸磁性开关 SQ1、SQ2，挡板气缸磁性开关 SQ3、SQ4，计算机图像信息处理后输出开关信号 SQ5、三个对心气缸磁性开关 SQ6、SQ7、SQ8、SQ9、SQ10、SQ11，下压气缸磁性开关 SQ12、SQ13；输出量分别是：摄像开关 YV1，推出气缸控制 YV2，挡板气缸控制 YV3，对心气缸控制 YV4、YV5、YV6，下压气缸控制 YV7。此系统有三个执行电机分别为：震动装置电机 M1，慢、快速传送带电机 M2、M3，综合多方面^[10]考虑，我们选用三菱 FX2N 型号的 PLC，其 I/O 地址分配如表 2-1 所示。PLC 外部接线可按照表 2-1 完成接线，其具体的编程见参考文献^[11]。

表 2-1 PLC I/O 地址分配表

Tab2-1 Distribute table of PLC I/O address

序号	元器件名称	I/O地址	序号	元器件名称	I/O地址
1	启动开关SB1	X1	13	对心气缸原位SQ11	X13
2	停止开关SB2	X2	14	下压气缸推出位SQ12	X14
3	推出气缸推出位SQ1	X3	15	下压气缸原位SQ13	X15
4	推出气缸原位SQ2	X4	16	光传感器1	X16
5	挡板气缸推出位SQ3	X5	17	光传感器2	X17
6	挡板气缸原位SQ4	X6	18	摄像开关YV1	Y1
7	图像处理输出SQ5	X7	19	控制推出气缸YV2	Y2
8	对心气缸推出位SQ6	X8	20	控制挡板气缸YV3	Y3
9	对心气缸原位SQ7	X9	21	控制对心气缸YV4	Y4
10	对心气缸推出位SQ8	X10	22	控制对心气缸YV5	Y5
11	对心气缸原位SQ9	X11	23	控制对心气缸YV6	Y6
12	对心气缸推出位SQ10	X12	24	控制下压气缸YV7	Y7

2.2 去皮机机身结构设计

2.2.1 苹果去皮机的设计方案

去皮机设计的目的是使输送装置输送到去皮机的苹果能够实现去皮、切块、自动卸载，并且此一系列功能均可在无人看守的情形下实现。

根据去皮机欲实现的功能，并参考过去去皮机的结构，初步设计方案为：

- (1) 机器为四工位、圆盘式结构。四工位分别实现功能：插果、削皮、切瓣、除核；圆盘式结构有利于实现循环工作；圆盘上四个工位分别有一组插针，苹果插于其上
- (2) 圆盘主轴采取伺服电动机驱动，转动方向为逆时针
- (3) 插果工位、切瓣工位以及除核工位均为气缸驱动
- (4) 去皮工位采用插补机构，此机构将按照数码摄像装置摄取的苹果侧面图像经计算机处理得到的苹果侧面曲线数控加工代码来完成苹果的削皮

整个去皮机是充分利用电机控制、传感器、气压传动等先进技术的光机电一体化机械装置。这里所说的机身机构设计是指不包括输送装置的去皮机部分。接下来将具体设计去皮机每个工位及主轴、机架等。

2.2.2 主轴、圆盘设计

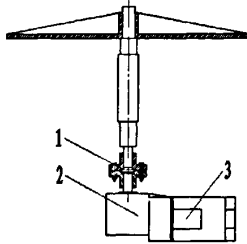


图 2-3 主轴、圆盘及电机连接图

Fig2-3 Connect drawing of the principal axis, the disk and the motor

如图 2-3 所示,设计一个圆盘,将四个工位的苹果插针以相隔 90° 布置于圆盘四周,同时考虑在插果、切瓣时圆盘边缘所受压力对于圆盘中轴的力矩较大,故采用加四个加强筋板的结构。圆盘套于轴上,轴端用圆螺母固定。考虑削皮、切块、卸载后的工序顺利进行,可在圆盘上装四块斜面板,以使苹果皮、苹果块、苹果核顺利滑下圆盘;机架的设计亦应使削皮工位产生的苹果皮、切块工位产生的苹果块、卸载工位产生的苹果核能够顺利滑向各自的收集区域以防止堆积过多使机械难于运行。

主轴间歇旋转运动的实现:

主轴旋转运动设计为伺服电动机+减速器传动,减速器轴与联轴器及主轴与联轴器均以平键连接,电动机与联轴器采用成套产品。减速箱采用直角型可有效减小机器的总高度,增加机器的平稳性及节省空间。主轴旋转运动传动结构示意图如图 2-3 所示。为实现主轴的间歇转动,主轴的驱动控制采用闭环控制,即步进电机由步进电机驱动器驱动,圆盘边缘分布若干触头,以触发机架设置的接触传感器,从而对伺服电机实现启动、停止动作。

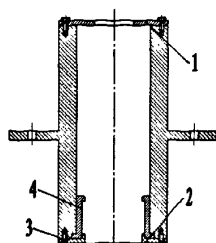
减速器是一种动力传动机构,利用齿轮速度转换器,将马达的回转数减速到所要的回转数,并得到较大转矩。其主要作用在于:降速同时提高输出扭矩,扭矩输出比例为电机输出扭矩乘以减速比,但不能超出减速器额定扭矩;降速同时降低了负载的惯量,惯量的减少为减速比的平方。

2.2.3 主轴腔设计

方案一:主轴腔上下口均采用轴承盖方式。此方案中主轴、圆盘及圆盘附属的所有零件的重量均由下轴承盖的固定螺栓来承载,螺栓承受轴向拉力较大,容易产生变形。

方案二:主轴腔上口采用轴承盖方式,下部口盖采用与主轴腔一体的方式,此方案

可解决方案一中螺栓承受轴向力过大的问题，但整个主轴腔的加工会比较困难，并且轴承安装困难。



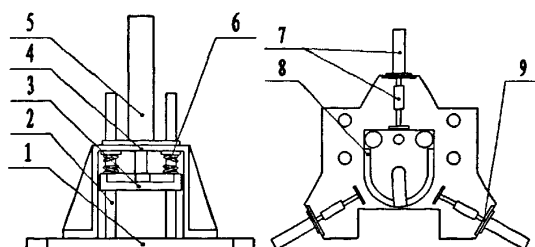
1.上轴承盖 2.下轴承盖 3.螺栓 4.轴承衬套

图 2-4 主轴腔结构图

Fig2-4 Cavity principal axis sketch map

综合比较二种方案，采用第一种方案。因为螺栓所承受的载荷主要为圆盘及其附属零件的重量以及插苹果、切块的下压力，这些力都不是很大，故选用直径稍大的螺栓来固定轴承盖。最后确定方案主轴腔的结构图如图 2-4 所示。

分析主轴受力可知，在主轴工作过程中，主轴承受轴向、径向力均较大，故下部轴承采用成对使用的圆锥棍子轴承，一是起到对轴起到轴向定位的作用，二是能够承受较大的轴向力和径向力。而上部轴承采用深沟球轴承，只承受剩余的径向力。主轴两端一端固定，一端滑动，能够更好地适应轴的适当变形。



1.平台, 2.托板导柱, 3.苹果压板, 4.支架, 5.下压气缸, 6.弹簧, 7.对心气缸及其推果缓冲装置, 8.苹果托板, 9.对心气缸固定板

图 2-5 插果机构示意图 (左: 主视图. 右: 俯视图)

Fig2-5 Sketch map of Fruit-insert Mechanism (Left: main view. Right: bow view)

2.2.4 插果机构设计及其与供料装置的衔接工作过程

插果机构所需实现的功能为将输送带输送过来的苹果以对中的位置插上圆盘上的插针。据此，可设计其机构示意图如图 2-5 所示。为便于观察，主视图中省略了对心气缸及其推果缓冲装置，俯视图中省略了支架及其附带的其他零件。以下结合实例说明插果机构工作原理。

苹果对心气缸及其缓冲装置 7 设有三个，以相互夹角 120° 分布于平台四周，苹果

被送上苹果托板 8 后，三个苹果对心气缸推杆同时伸出并缩回，此时苹果托板 8 正下方的苹果插针将与苹果的轴线对齐，下压气缸 5 的推杆下压，带动苹果压板 3 向下移动，在 3 向下移动并和苹果接触之前苹果托板 8 在弹簧 6 的作用下并不向下移动，3 和苹果接触后，苹果托板 8、苹果、苹果压板 3 与气缸推杆一起向下移动，此动作将苹果插于苹果插针上，此时自动苹果去皮机的苹果插针所在的圆盘克服苹果与苹果托板、苹果压板之间的摩擦力转动，苹果移出苹果托板之后气缸推杆开始向上移动，并保证苹果托板不与下一苹果插针干涉，回归原位。苹果托板 8 向上移动直到其上表面与平台 1 的上表面平齐。具体工作方式如图 2-6 所示。

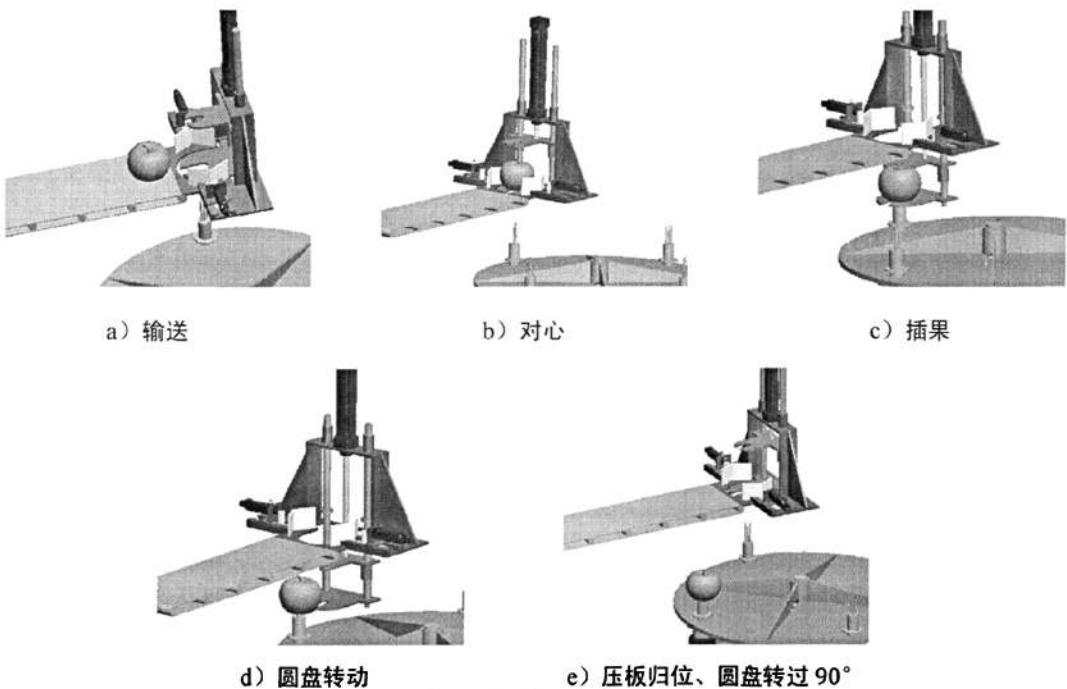


图 2-6 插果工作过程

Fig2-6 Fruit inserting working process

由于在苹果托板和苹果压板上开有与苹果插针运动轨迹相重合的弧形缺口，故在苹果压板压下时，苹果插针所在的圆盘可顺利转动。装于苹果对心气缸推杆上的缓冲装置可保证推杆对苹果不造成机械损伤^[2]。

考虑用三个气缸来实现苹果的对心有如下缺点：(1) 浪费执行元件；(2) 占用空间大，使机器体积加大；可考虑采用 2 个气缸来实现苹果的对心，为使苹果对中顺利实现，采用 V 形推板，苹果经 V 形推板的作用自动与气缸中心线对齐，同时缓冲装置辅助将苹果推往对中位置。确定方案后插果机构设计图如图 2-7 所示。图中弹簧与缓冲装置未画出。

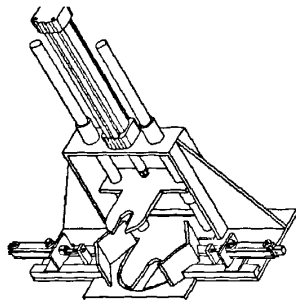


图 2-7 插果机构设计图
Fig2-7 Fruit insert framework drawing

2.2.5 削皮机构设计

a 机构设计

插果机构是使削皮刀沿苹果纵向截面弧线运动的机构，此机构包括两个导轨，分别可使刀具沿横向和纵向运动，其控制方式为使用两轴运动控制器控制步进电机。通过数码摄像装置摄取的苹果侧面曲线经图像处理软件得到的苹果侧面曲线以及运动控制器所带的软件可准确对苹果进行削皮加工。这种装置的优点是该装置所加工的苹果不必提前进行分级，各种形状及大小的苹果均可经该装置进行削皮。

削皮机构如图 2-8 所示。横、竖向运动导轨均采用平行导柱两根，在横向导柱上设

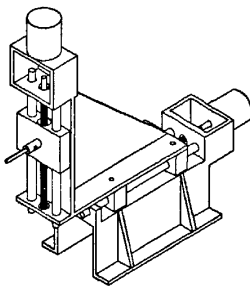


图 2-8 削皮机构图
Fig2-8 picture of the husk framework

有两个滑块，上导轨架固定于两滑块上，两滑块之间的距离须适当，一使两滑块在导柱上有足够的移动距离以完成对苹果的削皮动作，二是满足上导轨架的固定要求，并且上导轨不会受力过大而过度变形。其中一个滑块上设有丝杠螺母，利用丝杠副进行传动，丝杠由伺服电动机驱动，在两滑块分别运动到各自的极限位置处时，均有限位开关防止运动过量，丝杠和电机以弹性联轴器连接。同样在竖向导柱上设有刀具座，该刀具座同样可在两导柱上滑动，当刀具座滑动到两极限位置时有限位开关防止运动过量。刀具座上设计一圆筒，用于固定刀具，刀具插入圆筒中，圆筒的螺栓孔用于旋入一颗固定刀具用的螺钉。横、竖两个导轨的驱动电机均固定于方形支架上，中间的方形空间可容纳联

轴器。

b 滚珠丝杠副传动系统

1) 滚珠丝杠螺母副的特点

螺旋传动是利用螺杆和螺母组成的螺旋副来实现传动要求的。它主要用于将回转运动转变为直线运动，同时传递运动和力。而螺旋传动按其螺旋副的摩擦性质不同可分为滑动螺旋（滑动摩擦）、滚动螺旋（滚动摩擦）和静压摩擦（流体摩擦）。滑动螺旋结构简单，便于制造，易于自锁，但其主要缺点是摩擦阻力大，传动效率低（一般为 30%~40%），磨损快，传动精度低等^[13]。因为所设计的削皮机构为比较精密的自动控制系统，故采用滚动螺旋传动。滚动螺旋传动具有传动效率高、起动力矩小、传动灵敏平稳、工作寿命长等优点^[13]。

2) 滚珠丝杠副的精度选择^[14]

滚珠丝杠螺母副按其使用范围及要求分为 7 个精度等级。1 级精度最高，其余依次逐级递减。数控机床和精密机械可选用 2、3 级精度。对此削皮机构可选用 2、3 级精度。

3) 滚珠丝杠的支承^[14]

滚珠丝杠的主要载荷是轴向载荷，而径向载荷主要是卧式丝杠的自重。其两端支承的配置情况分为一端固定一端自由、两端固定和一端固定一端浮动，如图 2-9 所示。

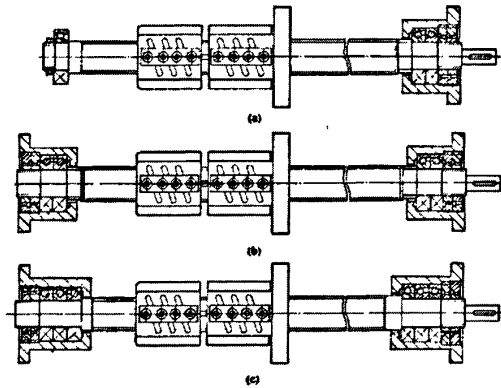


图 2-9 滚珠丝杠的支承配置
Fig2-9 Supporting configure of ballscrew

图（a）所示是一端固定一端自由的支承形式。其特点是结构简单，轴向刚度低，适用于短丝杠及垂直布置丝杠，一般用于数控机床的调整环节和升降台式数控铣床的垂直坐标轴。

图（b）所示是一端固定一端浮动的支承形式，丝杠轴向刚度与（a）形式相同，丝杠受热后有膨胀伸长的余地，需保证螺母与两支承同轴。这种形式的配置结构较复杂，工艺较困难，适用于较长丝杠或卧式丝杠。

图(c)所示是两端固定的支承形式,丝杠的轴向刚度约为一端固定形式的4倍,可预拉伸,这样既可对滚珠丝杠施加预紧力,又可使丝杠受热变形得到补偿,保持恒定预紧力,但结构工艺都较复杂,适用于长丝杠。

对于竖向丝杠,采取一端固定一端自由的支承形式,横向丝杠采取一端固定一端浮动的支承形式。

4) 滚珠丝杠螺母副的选择步骤^[14]

(1) 计算最大的工作载荷;

(2) 计算最大动载荷,对于静态或低速运转的滚珠丝杠,还需考虑最大静载荷是否充分地超过了滚珠丝杠的工作载荷;

(3) 验算刚度;

(4) 压杆稳定性核算。

因为此削皮机构的最大工作载荷较小,故省略此选择步骤,直接选择适当尺寸的滚珠丝杠螺母副即可。

2.2.6 切块机构和卸载机构设计

切块机构、卸载机构均利用导向气缸或者滑动导轨组成直线运动机构来完成各自功能。切块刀设计为如图 2-10 中所示结构,八片刀片放射型分布于大小圆环中间,刀具垂

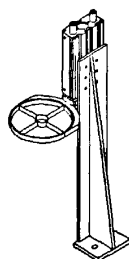


图 2-10 切块机构
Fig2-10 Cutting framework

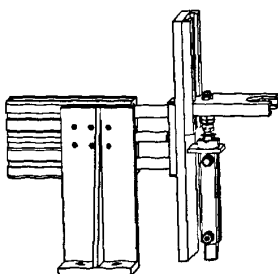


图 2-11 卸载机构
Fig2-11 Uninstall framework

直于苹果轴线运动可将苹果切为八块,中间的圆形刀刃将苹果核切下留在苹果插针上。卸载机构如图 2-11 所示,卸载托板上开有圆形槽,导向气缸伸出可将苹果插针座上的苹

果托板含入槽中，卸载气缸推杆伸出便将苹果核卸载。

2.2.7 机架及整体设计

在机器（或仪器）中支承或容纳零、部件的零件称为机架。机架的设计应满足以下要求：

- (1) 机架的重量轻，材料选择合适，成本低。
- (2) 结构合理，便于制造。
- (3) 结构应使机架上的零部件安装、调整、修理和更换都方便。
- (4) 结构设计合理，工艺性好，还应使机架本身的内应力小，由温度变化引起的变形应力小。
- (5) 抗振性能好。
- (6) 耐腐蚀，使机架结构在服务期限内尽量减少修理。
- (7) 有导轨的机架要求导轨面受力合理，耐磨性良好。

由以上要求，初步选定机架材料为 45 角钢，考虑全自动苹果去皮机四工位应处于圆盘四周，以顺利实现苹果插针在四个工位的循环。机架采用平台式结构，圆盘主轴固定于平台中央并穿过平台与下方的电动机相连接。插果机构是连接去皮机以及输送装置的部件，须满足既与输送带相衔接，以顺利完成苹果从输送带到插果机构的传送，还要使插果机构能够将苹果顺利插于插针上，而且不能干涉插针的顺利随圆盘转动。因此在平台上设置一高于圆盘的小机架。

机架的设计一般先通过载荷的校核，然后选择合适的材料，对于本机器，工作载荷较小，因此不需要载荷的校核。最后确定整机的设计图如图 2-12 所示：

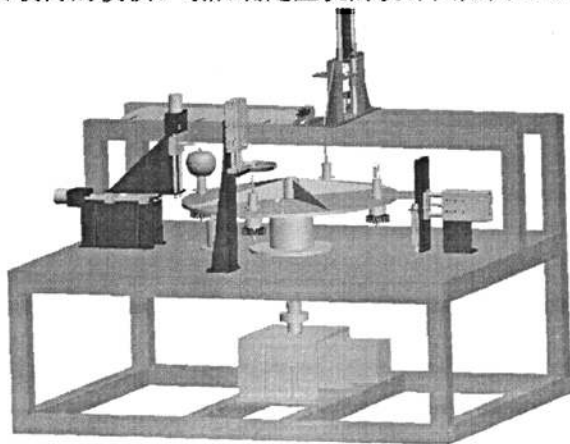


图 2-12 全自动苹果去皮机整体结构图

Fig2-12 Over all structure drawing of the full automatic apple peeling machine

3 传动机构设计计算

本苹果去皮机的主要驱动元件包括主轴伺服电动机、插果机构的下压气缸。主轴圆盘和削皮机构由伺服电动机驱动；插果机构、切块机构以及卸载机构均由气缸驱动。另外插果机构导柱上的螺旋压缩弹簧的正确选择也对插果机构的正常工作有重要作用。

3.1 圆盘主轴伺服电动机的选型

3.1.1 伺服电动机及其特点^[9]

伺服电动机又叫执行电动机，或叫控制电动机。在自动控制系统中，伺服电动机是一个执行元件，它的作用是把信号（控制电压或相位）变换成机械位移，也就是把接收到的电信号变为电机的一定转速或角位移。其容量一般在 0.1-100W，常用的是 30W 以下。

伺服电动机可分为直流伺服电动机和交流伺服电动机两大类。直流伺服电动机输出功率较大，一般可达几百瓦；交流伺服电动机输出功率较小，一般为几十瓦。

a 交流伺服电动机

交流伺服电动机定子的构造基本上与电容分相式单相异步电动机相似，如图 3-1 所示。其定子上装有两个位置互差 90° 的绕组，一个是励磁绕组 R_f ，它始终接在交流电压

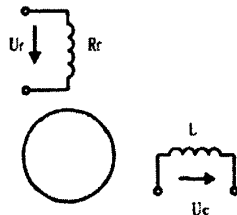


图 3-1 交流伺服电动机原理图
Fig3-1 AC servomotor schematic

U_r 上；另一个是控制绕组 L ，联接控制信号电压 U_c 。所以交流伺服电动机又称两个伺服电动机。

交流伺服电动机的转子通常做成鼠笼式，但为了使伺服电动机具有较宽的调速范围、线性的机械特性，无“自转”现象和快速响应的性能，它与普通电动机相比，应具有转子电阻大和转动惯量小这两个特点。目前应用较多的转子结构有两种形式：一种是采用高电阻率的导电材料做成的高电阻率导条的鼠笼转子，为了减小转子的转动惯量，转子做得细长；另一种是采用铝合金制成的空心杯形转子，杯壁很薄，仅 0.2-0.3mm，为了减小磁路的磁阻，要在空心杯形转子内放置固定的内定子，如图 3-2 所示。空心杯形转子的转动惯量很小，反应迅速，而且运转平稳，因此被广泛采用。

交流伺服电动机在没有控制电压时，定子内只有励磁绕组产生的脉动磁场，转子静止不动。当有控制电压时，定子内便产生一个旋转磁场，转子沿旋转磁场的方向旋转，

在负载恒定的情况下，电动机的转速随控制电压的大小而变化，当控制电压的相位相反时，伺服电动机将反转。

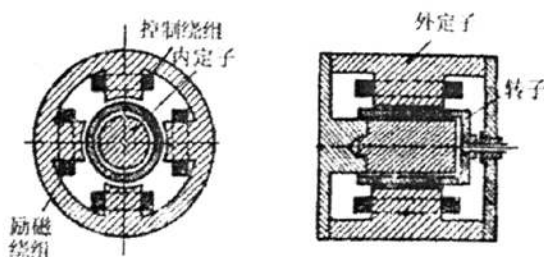


图 3-2 空心杯形转子伺服电动机结构图
Fig3-2 Structure chart of the air core rotors servomotor

交流伺服电动机的工作原理与分相式单相异步电动机虽然相似，但前者的转子电阻比后者大得多，所以伺服电动机与单相异步电动机相比，有三个显著特点：

- 1) 起动转矩大
- 2) 运行范围较宽
- 3) 无自转现象

b 直流伺服电动机

直流伺服电动机的结构和一般直流电动机一样，只是为了减小转动惯量而做得细长一些。它的励磁绕组和电枢分别由两个独立电源供电。也有永磁式的，即磁极是永久磁铁。通常采用电枢控制，就是励磁电压 f 一定，建立的磁通量 Φ 也是定值，而将控制电压 U_c 加在电枢上，其接线图如图 3-3 所示。

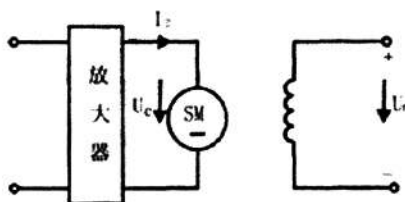


图 3-3 直流伺服电动机接线图
Fig3-3 wiring diagram of DC servomotor

直流伺服电动机的机构特性 ($n=f(T)$) 和直流他励电动机一样，用下式表示：

$$n = U_c / K_E \cdot \Phi - R_a / K_E \cdot K_T \cdot \Phi \cdot T \quad (3-1)$$

图 3-4 是直流伺服电动机在不同控制电压下 (U_c 为额定控制电压) 的机械特性曲线。由图可见：在一定负载转矩下，当磁通不变时，如果升高电枢电压，电机的转速就升高；反之，降低电枢电压，转速就下降；当 $U_c = 0$ 时，电动机立即停转。要电动机反转，可改变电枢电压的极性。

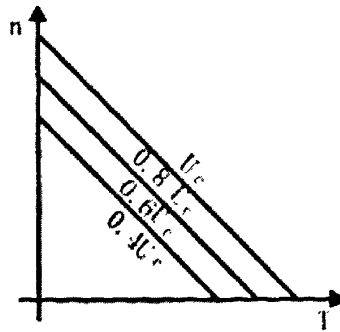


图 3-4 直流伺服电动机在不同控制电压下 (U_c 为额定控制电压) 的机械特性曲线
 Fig3-4 Mechanical property curve of DC servomotor under different control voltages (U_c is rating control voltages)

交流伺服电动机同直流伺服电动机比较，主要优点有：

- (1) 无电刷和换向器，因此工作可靠，对维护和保养要求低
- (2) 定子绕组散热比较方便
- (3) 惯量小，易于提高系统的快速性
- (4) 适应于高速大力矩工作状态
- (5) 同功率下有较小的体积和重量

因此可选用交流伺服电动机作为主轴驱动电机。

3.1.2 伺服电动机的设计计算^[16]

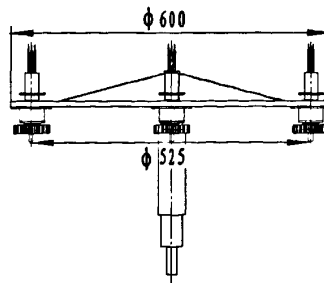


图 3-5 圆盘驱动计算
 Fig3-5 Disk drive calculation

伺服电动机的负载有外力负载、摩擦负载和惯性负载，所以伺服电动机必须克服这些负载才能作正常的进给驱动。

圆盘采用铝合金材料，其他组件均按 45 钢计算，各自的密度按如下计算： $\rho_{\text{铝合金}} = 2.92\text{g/cm}^3$ ， $\rho_{45\text{钢}} = 7.85\text{g/cm}^3$ 。

a 驱动方式

伺服电动机驱动方式有螺杆、齿条与小齿轮、定时皮带、滚子进给、旋转体等。由

图 3-5 可知该伺服电机以旋转体方式驱动主轴组件。

首先计算圆盘、插针组件及主轴的飞轮矩 GD^2

$$GD_1^2 = \frac{\pi}{8} \times 9.81 \times 2.7 \times 10^3 \times 0.01 \times 0.6^4 \quad (3-2)$$

$$= 13.5 (\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

$$GD_2^2 = 9.81 G \rho^2 \quad (3-3)$$

$$= 9.81 \times 0.91 \times 0.525^2$$

$$= 2.5 (\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

对于 GD_3^2 ，由于主轴半径相对圆盘半径非常小，故其飞轮矩可忽略不计（经计算数值较小）。

$$\sum GD^2 = GD_1^2 + 4GD_2^2 \quad (3-4)$$

$$= 13.5 + 4 \times 2.5$$

$$\approx 23.5 (\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

再计算各部分重量

$$G_1 = \frac{\pi}{4} D_1 l \gamma \quad (3-5)$$

$$= (\pi/4) \times 0.6^2 \times 0.01 \times 2.7 \times 10^3 + (0.3 - 0.04) \times 0.05 \times 0.005 \times 2.7 \times 10^3$$

$$\approx 30.7 \text{kg}$$

$$G_2 = 0.91 \text{kg} \quad (3-6)$$

$$G_3 = (\pi 0.01^2 \times 0.05 + \pi 0.02^2 \times 0.06 + \pi 0.025^2 \times 0.16 + \pi 0.02^2 \times 0.04 + \pi 0.015^2 \times 0.075)$$

$$\times 7.8 \times 10^3 \quad (3-7)$$

$$\approx 3.96 \text{kg}$$

所以，

$$\Sigma G = 30.7 + 0.91 \times 4 + 3.96 = 38.3 \text{kg} \quad (3-8)$$

计算驱动惯性盘旋转及轴承摩擦功率

$$P_{m1} = \frac{GD^2}{365} \cdot \frac{n^2}{t} = \frac{23.5}{365} \cdot \frac{15^2}{0.33} \approx 43.90 \text{W} \quad (3-9)$$

$$P_{m2} = 0.1047 \mu G \frac{d_j}{2} n \quad (3-10)$$

$$= 0.1047 \times 0.005 \times 38.3 \times 9.81 \times 0.04 \times 15$$

$$\approx 0.12 \text{W}$$

驱动功率

$$P_m = P_{m1} + P_{m2} = 44.02 \text{W} \quad (3-11)$$

b 作运转模式图

运转模式图如图 3-6 所示：

圆盘角速度 $\omega=(\pi/2)/s$ ，圆盘每次运转 1s，即 $T_r=1s$ 。

从运转模式图可得： $T_a=T_b=T_r/3=1/3s$

c 求换算到电机轴上的转矩

$$T = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n}{t} \tag{3-12}$$

$$= 0.21Nm$$

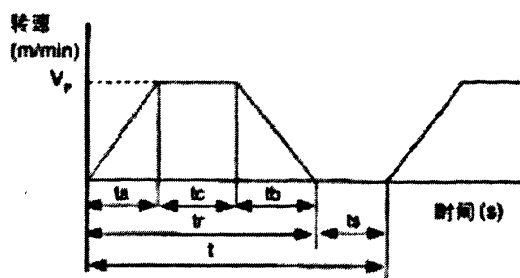


图 3-6 运转模式图
Fig3-6 Operating mode chart

d 求换算到电机轴上的负荷惯性 (J_L)

$$J_L = \frac{GD^2}{4g} \tag{3-13}$$

$$\approx 0.6 \text{ (kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2)$$

e 电机的选定

表 3-1 MSMD5AZPIU 型电机参数表

Table3-1 List of MSMD5AZPIU type electric machine parameters

系列	MSMD
额定输出功率	50W
适配驱动器型号	MADDT1205
外形分类	A 型
额定转矩 (N·m)	0.24
最大转矩 (N·m)	0.48
额定转速/最高转速 (rpm)	3000/5000
无制动器	$0.025 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^3$
有制动器	$0.027 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^3$
环境要求	温度: 工作 0~55℃, 保存-20~80℃; 工作/保存 $\leq 90\%RH$ (无结露); 海拔 ≤ 1000 米; 振动 $\leq 5.88 \text{m/s}^2$, 10~60Hz
质量 (kg) (制动器: 无/有)	0.32/0.53

从产品目录^[17]中选择满足上述(P)(T)条件的电机。此处选择 Panasonic MSMD5AZP1U 型伺服电动机,输出功率 50W,经减速器出轴额定转速为 15r/min。电动机各参数值如表 3-1 所示:

f 电动机制动类型选择^[18]

由于机器在削皮进行时须保持圆盘静止,要维持机械装置的静止位置需电机提供较大的输出转矩,如果使用伺服的自锁功能往往会造成电机过热或放大器过载.这种情况就要选择带制动器的电机。

伺服电机一般有如下三种制动方式:

(1) 动态制动器由动态制动电阻组成,在故障,急停,电源断电时通过能耗制动缩短伺服电机的机械进给距离。

(2) 再生制动是指伺服电机在减速或停车时将制动产生的能量通过逆变回路反馈到直流母线。经阻容回路吸收。

(3) 电磁制动是通过机械装置锁住电机的轴。

三者的区别:

(1) 再生制动必须在伺服器正常工作时才起作用,在故障,急停,电源断电时等情况下无法制动电机。动态制动器和电磁制动工作时不需电源。

(2) 再生制动的工作是系统自动进行,而动态制动器和电磁制动的工作需外部继电器控制。

(3) 电磁制动一般在 SV OFF 后启动,否则可能造成放大器过载。动态制动器一般在 SV OFF 或主回路断电后启动,否则可能造成动态制动电阻过热。

选择配件的注意事项

(1) 有些系统如传送装置,升降装置等要求伺服电机能尽快停车,而在故障,急停,电源断电时伺服器没有再生制动无法对电机减速。同时系统的机械惯量又较大,这时需选用动态制动器。动态制动器的选择要依据负载的轻重,电机的工作速度等。

(2) 有些系统要维持机械装置的静止位置需电机提供较大的输出转矩且停止的时间较长,如果使用伺服的自锁功能往往会造成电机过热或放大器过载.这种情况就要选择带电磁制动的电机。

(3) 一般伺服驱动器都有内置的再生制动单元,但当再生制动较频繁时可能引起直流母线电压过高,这时需另配再生制动电阻,再生制动电阻是否需要另配,配多大的再生制动电阻可参照样本的使用说明。需要注意的是样本列表上的制动次数是电机在空载时的数据。实际选型中要先根据系统的负载惯量和样本上的电机惯量,算出惯量比。再以样本列表上的制动次数除以(惯量比+1)。这样得到的数据才是允许的制动次数。

综合以上分析,可选择带电磁制动器的伺服电机。

至此完成主轴伺服电动机的选型。

3.2 圆柱螺旋压缩弹簧^[13]

3.2.1 概述

弹簧是一种弹性元件，它可以在载荷作用下产生较大的弹性变形。弹簧在各类机械中应用十分广泛，主要用于：

- (1) 控制机构的运动
- (2) 减震和缓冲
- (3) 储存及输出能量
- (4) 测量力的大小

按照所承受的载荷不同，弹簧可以分为拉伸弹簧、压缩弹簧、扭转弹簧和弯曲弹簧等四种；而按照弹簧的形状不同，又可分为螺旋弹簧、环形弹簧、蝶形弹簧、板簧和平面涡卷弹簧等。

螺旋弹簧是用弹簧丝卷制成的，由于制造简便，所以应用最广。在一般机械中，最为常用的是圆柱螺旋弹簧，本插果机构中即选用圆柱螺旋压缩弹簧。

根据参考文献[13]，弹簧按载荷分为三类：I类——受变载荷作用次数在 10^6 以上的弹簧；II类——受变载荷作用次数在 $10^3 \sim 10^5$ 及冲击载荷的弹簧；III类——受变载荷作用次数在 10^3 以下的弹簧。根据工艺要求，此弹簧应属 I 类。

在选择材料时，应考虑到弹簧的用途、重要程度、使用条件（包括载荷性质、大小及循环特性，工作持续时间，工作温度和周围介质情况等），以及加工、热处理和经济性等因素。同时，也要参照现有设备中使用的弹簧，选择出较为合用的材料。

3.2.2 圆柱螺旋压缩弹簧的设计

a 圆柱弹簧的参数及几何尺寸

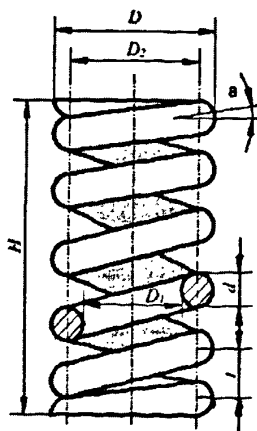


图 3-7 圆柱弹簧参数

Fig3-7 Cylinder spring parameter

圆柱弹簧的主要尺寸有：弹簧丝直径 d 、弹簧圈外径 D 、弹簧圈内径 D_1 、弹簧圈中径 D_2 、节距 t 、自由长度 H_0 等。

b 弹簧参数计算

1) 弹簧强度计算

弹簧设计中，旋绕比 C 是最重要的参数之一。 $C=D_2/d$ ，旋绕比越小，其刚度越大，弹簧越硬，弹簧内外侧的应力相差愈大，材料利用率低；反之弹簧愈软。常用旋绕比的选取见表 3-2。

表 3-2 常用旋绕比 C 值

Table3-2 spring index C value in common use

d/mm	0.2~0.4	0.45~1	1.1~2.2	2.5~6	7~16	18~42
$C=D/d$	7~14	5~12	5~10	4~9	4~8	4~6

按照弹簧的工作情况，在本设计中的弹簧为 I 类载荷弹簧，材料选用碳素弹簧钢丝，初定弹簧直径 d 为 2mm，经查表可知 $C \approx 10$ 。查弹簧材料及许用应力表^[13]及弹簧钢丝的拉伸强度极限 σ_B ^[13]确定其许用切应力 $[\tau]$ 为 540Mpa，切变模量 G 为 81Gpa。由下面的公式：

$$\tau = \frac{T}{W} + \frac{Q}{A} = \frac{F \times \frac{D_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \times d^3} + \frac{F}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \frac{8FD_2}{\pi d^3} \left(1 + \frac{1}{2C}\right) = K \frac{8FD_2}{\pi d^3} \leq [\tau] \quad (3-14)$$

推得

$$d \geq 1.6 \sqrt{\frac{KF_{\max} C}{[\tau]}} \quad (3-15)$$

系数 K 可以理解切向力作用时对扭应力的修正系数，进一步考虑到弹簧丝曲率的影响，曲度系数

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} = 1.145 \quad (3-16)$$

所以，

$$d \geq 1.6 \sqrt{\frac{1.145 \times 81 \times 10}{540}} = 2 \text{ mm} \quad (3-17)$$

因此取 $d=2\text{mm}$ 满足静强度要求

2) 确定弹簧圈数

$$n = \frac{G\lambda d^4}{8FD^3} = \frac{G\lambda_{\max} d^4}{8F_{\max} D^3} = \frac{81 \times 10^3 \times 51 \times 2^4}{8 \times 101 \times 22^3} = 8.619 \quad (3-18)$$

取支撑圈数 $n' = 2$ ，则弹簧总圈数为

$$n+n' = 8.619+2 \approx 11 \quad (3-19)$$

3) 弹簧的刚度 k

由公式计算可得：

$$k = \frac{F_{\max}}{\lambda_{\max}} = \frac{101}{51} \approx 2 \text{ N/mm} \quad (3-20)$$

弹簧的实际刚度则由下式计算：

$$k = \frac{F}{\lambda} = \frac{81 \times 10^3 \times 2}{8 \times 10^3 \times 11} = 1.84 \text{ N/mm} \quad (3-21)$$

3.3 插果机构执行元件——气缸的选型^[19]

气动执行元件是将系统中压缩空气的压力能转换为机械能的能量转换装置，主要包括气缸和气马达两大类。

气缸主要利用压缩空气的压力实现直线往复运动，特殊气缸也可实现相对转动。

3.3.1 气缸的分类及特点

气缸的种类及其分类方法比较多，按压缩空气压力对活塞作用的方式，可分为单作用气缸和双作用气缸；按气缸的结构特征，可分为活塞缸、柱塞缸、膜片缸及摆动缸等；按安装方式不同，还可分为脚座式、法兰式、耳环式和耳轴式气缸等；此外，按气缸的功能应用还可分为普通气缸和特殊气缸等。

普通气缸是指常用活塞缸或柱塞缸等，用于安装、功能或动作等无特殊要求的场合。

a 结构

普通气缸主要由缸体、前端盖、后端盖、活塞、活塞杆等组成，两端盖上设有进、排气口，通常在端盖内设有缓冲机构。为了防止活塞杆伸出、缩进时漏气或外部灰尘带入缸内，在前端盖处内孔与活塞杆之间加设了防尘圈和密封圈。在前端盖内孔处安装了由耐磨材料制成的导向套，以减少活塞与端盖之间产生磨损，延长气缸的使用寿命，并保证活塞杆中心与缸体中心重合。

b 速度特性

由于气体具有较大的可压缩性，因此，气缸活塞的运动速度通常是指其平均速度。一般气缸活塞的运动速度在 50~500 mm/s 之间，当速度小于 50 mm/s 时，受摩擦阻力增大和气体可压缩性的影响，使运动平稳性大为降低，甚至会导致活塞运动出现时走时停的“爬行”现象。如果速度高于 500 mm/s，活塞高速运动产生的摩擦热急剧上升，使气缸密封件受损、行程末端的冲击力增大，会降低气缸使用寿命。

c 输出力

气缸的输出力的计算与液压缸完全相同，但考虑到活塞等运动部件的惯性力、摩擦力及负载的动态特性等因素的影响，实际输出力要小于理论计算输出力。以单活塞杆气缸为例，通常可按经验公式计算如下

$$F_1 = \eta p \pi D^2 / 4 \quad (3-22)$$

$$F_2 = \eta p \pi (D^2 - d^2) / 4 \quad (3-23)$$

式中:

F_1 、 F_2 ——作用于气缸无杆腔、有杆腔活塞上的压缩气体推力, N;

D 、 d ——活塞、活塞杆直径, m;

p ——气缸工作压力, Pa;

η ——考虑各种运动阻力及负载动态特性等因素的效率系数。

效率系数 η 与负载压力和活塞运动速度有关, 其值随负载压力增大而增大, 随活塞运动速度增大而减小。单纯从负载压力变化来看, 当负载力在 0.16~1 MPa 之间变化时, η 则在 0.1~0.7 间取值。当气缸低速运动, 如气动夹紧、低速压铆、压焊等, 活塞运动速度 $v < 50$ mm/s 时, $\eta \leq 0.7$; 活塞运动速度 $v = 50 \sim 500$ mm/s 时, $\eta \leq 0.5$; 而当 $v > 500$ mm/s 时, $\eta \leq 0.3$ 。

3.3.2 气缸的选用

(1) 确定气缸种类根据工作目的、方式对机构的要求, 以及使用场合、负载特点、输出能量特征选择气缸的种类。此处选择双作用式气缸, 因气缸活塞伸出和缩回均有负载作用。

(2) 确定气缸承载能力 在留有一定裕度的情况下计算负载率, 按照工作负载大小、承载形式选定相应的气缸。

插苹果所需力大小约为 50N, 安全保险系数取 0.5。

根据式 3-23, 可得

$$80 = 0.5 \times \eta p \pi (D^2 - d^2) / 4 \quad (3-24)$$

一般气缸使用压力为 0.7MPa, 由此可得缸径应为 $D^2 - d^2 = 0.0004$ m, 根据此条件选择气缸缸径。

(3) 确定活塞有效行程根据工作机构所需运行范围, 通常需增加 10mm 左右的行程余量。

(4) 确定活塞运动速度尽可能在普通气缸运动速度范围 0.5~1m/s 内选用气缸, 为增加系统刚性和防止产生爬行现象, 在确定气缸输出运动速度时, 应适当考虑在系统中增设节流调速、快速排气等措施。

(5) 选择气缸安装方式根据系统结构布置情况选用气缸的安装方式, 但应保证负载作用力方向始终与气缸轴线方向一致, 为了防止偏载, 应尽可能使负载作用力中心与活塞中心重合。

4 苹果去皮机运动仿真^[20]

4.1 计算机仿真概述

4.1.1 计算机仿真的基本概念及特点

计算机仿真(Computer Simulation)是指对于某个待研究的系统真模型进而在电子计算机上对该仿真模型进行模拟实验(仿真实验所以计算机仿真是通过对系统模型的实验去研究一个真实系统。

从 20 世纪 80 年代后期开始,计算机仿真在诸多方面都发生了十分重大的转变:仿真的对象已由对连续系统转向离散事件系统;由重视实验转向重视建模与结果分析;由强调并重视与人工智能结合转向强调与图形技术和对象技术结合,使仿真的交互性大大增强。就应用领域方面而言,计算机仿真已由航空航天转向制造业,并从研究制造对象(产品)的动力学、运动学特性及加工、装配过程扩大到研究制造系统的设计和运行,并进一步扩大到后勤供应、库存管理、产品开发过程的组织、产品测试等,涉及到企业制造活动的各个方面。

现代制造的分布性也使得计算机仿真与网络技术相结合,出现了分布式仿真技术。计算机仿真技术集成了计算机技术、网络技术、图形图像技术、面向对象技术、多媒体、软件工程、信息处理、自动控制等多个高新技术领域的知识。计算机仿真技术是以数学理论、相似原理、信息技术、系统技术及其应用领域有关的专业知识为基础,以计算机和各种物理效应设备为工具,利用系统模型对实际的或设想的系统进行试验研究的一门综合性技术。计算机仿真技术还有以下几个优点:

a 模型参数任意调整

模型参数可根据要求通过计算机程序随时进行调整、修改或补充,使人们能掌握各种可能的仿真结果,为进一步完善研究方案提供了极大的方便。这使得计算机仿真与通常的实物实验相比,具有运行费用低、无风险以及方便灵活等优点。

b 系统模型快速求解

利用计算机,在较短时间内就能知道仿真运算的结果(数据或图像)。

c 运算结果可靠

只要系统模型、仿真模型和仿真程序是科学合理的,那么计算机的运算结果一定是准确无误的。正是基于这些优点,计算机仿真方法能优化系统设计,降低实验成本,减少失败风险,提高预测能力。目前,无论在科学研究还是技术开发或工业设计中,计算机仿真方法都显示出强大的威力,已成为人们研究复杂系统时不可或缺的一种手段^[21]。

4.1.2 计算机仿真技术在制造业中的应用

计算机仿真技术作为一门新兴的高科技技术,在制造业产品设计和制造,尤其在航

空、航天、国防及其他大规模复杂系统的研制开发过程中，一直是不可缺少的工具，它在减少损失、节约经费、缩短开发周期、提高产品质量等方面发挥了巨大的作用。在产品的设计、制造至测试维护的整个生命周期中，计算机仿真技术贯穿始终^[2]。

a 虚拟制造(VM)

虚拟制造是在二十世纪九十年代提出的一种全新的制造理念，虚拟制造采用计算机虚拟仿真技术，以新产品及其制造系统的全局最优化为目标，通过仿真模型，在计算机上仿真生产全过程，实现产品的工艺规程、加工制造、装配和调试，预估产品的功能、性能和加工性等方面可能存在的问题，从而更加有效地组织生产，增强决策与控制水平，缩短产品开发周期，提高产品质量。目前虚拟制造技术的研究和应用主要侧重于运动仿真、加工模拟、装配检查、性能评测等方面，其核心技术包括虚拟现实技术、仿真技术、建模技术和可制造性评价。可制造性评价是在给定的环境信息和制造资源下，确定设计特性(如形状、尺寸、公差等)是否是可制造的及制造的难易程度。

b 虚拟产品开发(VPD)

虚拟产品开发是实际产品开发过程在计算机上的本质实现，即采用计算机仿真与虚拟现实技术，在计算机上群组协同工作，实现产品的设计、工艺规划、加工制造、性能分析、质量检验等。虚拟产品开发源于并行工程(CE)思想。CE的思想是将现代先进的组织形式跟现代的哲学、文化混合为一体，是对产品设计及其相关过程进行并行的、一体化设计的一种系统化工作模式。虚拟产品开发技术从根本上改变了设计、试制、修改设计、规模生产和产品维护的传统模式，在产品开发的前期即考虑了投资、生产、装配、销售及维修等问题，因而能够大大提高产品质量，降低产品成本，缩短产品开发周期，提高其市场的竞争能力。

c 虚拟样机

虚拟样机技术是指在产品的设计开发过程中，将分散的零部件设计和分析技术揉合在一起，在计算机上建造出产品的整体模型，并对该产品在投入使用后的各种工况进行仿真分析，预测产品的整体性能，进而改进产品设计、提高产品性能的一种新技术。虚拟样机技术采用了计算机仿真与虚拟技术，在计算机上通过 CAD/CAM/CAE 等技术把产品的资料集成到一个可视化的环境中，实现产品的仿真、分析。虚拟样机技术强调系统的观点，涉及产品全生命周期，支持产品的全方位测试、分析与评估，强调不同领域的虚拟化的协同设计。虚拟样机技术的应用贯穿在整个设计过程当中，它可以用在概念设计和方案论证中。设计师可以把自己的经验与想象结合在计算机内的虚拟样机里，让想象力和创造力充分发挥。用虚拟样机来代替物理样机验证设计时，不但可以提高产品设计质量和效率，而且大幅度地缩短产品研制周期和费用。目前，世界上使用范围最广、最负盛名的虚拟样机软件是一美国研制的 ADAMS，它集建模、求解、可视化技术于一

体,能产生复杂机械系统的虚拟样机,真实地仿真其运动过程,并且可以迅速地分析和比较多种参数方案直至获得最优化的工作性能。

4.2 Pro/Engineer 仿真装配原理介绍

4.2.1 Pro/Engineer 三维实体建模设计系统的简介

Pro/Engineer 是美国 Parametric Technology Corporation(PTC)公司开发的一套集 CAD/CAM/CAE 功能于一身的三维造型设计软件。它具有单一数据库、参数化、基于特征、全相关的特点。被广泛的用于造型设计、机械设计、模具设计、加工制造、机构分析、有限元分析及相关数据库管理系统等的各个领域。Pro/Engineer 软件包的产品开发环境在支持并行工作,它通过一系列完全相关的模块表述产品的外形、装配及其他功能。Pro/E 能够让多个部门同时致力于单一的产品模型。包括对大型项目的装配体管理、功能仿真、制造、数据管理等。

Pro/Engineer 功能模块介绍^[23]:

a 工业设计(CAID)模块

工业设计模块主要用于对产品进行几何设计,以前,在零件未制造出时,是无法观看零件形状的,只能通过二维平面图进行想象。现在,用 3DS 可以生成实体模型,但用 3DS 生成的模型在工程实际中是“中看不中用”。用 Pro/Engineer 生成的实体建模,不仅中看,而且相当管用。事实上,Pro/Engineer 后阶段的各个工作数据的产生都要依赖于实体建模所生成的数据。

包括:PRO/3DRAINT(3D 建模)、PRO/ANIMATE(动画模拟)、PRO/DESIGNER(概念设计)、PRO/NETWORKANIMATOR(网络动画合成)、PRO /PERSPECTA-SKETCH(图片转三维模型)、PRO /PHOTORENDER(图片渲染)几个模块。

b 机械设计(CAD)模块

机械设计模块是一个高效的三维机械设计工具,它可绘制任意复杂形状的零件。在实际中存在大量形状不规则的物体表面,这些称为自由曲面。随着人们生活水平的提高,对曲面产品的需求将会大大增加。用 Pro/Engineer 生成曲面仅需 2 步~3 步操作。Pro/Engineer 生成曲面的方法有:拉伸、旋转、放样、扫掠、网格、点阵等。由于生成曲面的方法较多,因此 Pro/E 可以迅速建立任何复杂曲面。它既能作为高性能系统独立使用,又能与其它实体建模模块结合起来使用,它支持 GB、ANSI、150 和 JIS 等标准。包括:PRO/ASSEMBLY(实体装配)、PRO/CABLING(电路设计)、PRO/PIPING(弯管铺设)、PRO/REPORT(应用数据图形显示)、PRO/SCAN-TOOLS(物理模型数字化)、PRO/SUREACE(曲面设计)、PRO/WELDING(焊接设计)。

c 功能仿真(CAE)模块

功能仿真(CAE)模块主要进行有限元分析。主要是讲事物内在特征很难把握,机械

零件的内部变化情况是难以知晓的。有限元仿真使我们有了一双慧眼，能“看到”零件内部的受力状态。利用该功能，在满足零件受力要求的基础上，便可充分优化零件的设计。著名的可口可乐公司，利用有限元仿真，分析其饮料瓶，结果使瓶体质量减轻了近20%，而其功能丝毫不受影响，仅此一项就取得了极大的经济效益。

包括:PRO/FEM-POST(有限元分析)、PRO/MECHANICA CUSTOMLOADS (自定义载荷输入)、PRO/MECHANICA EQUATIONS(第三方仿真程序连接)、PRO/MECHANICA MOTION(指定环境下的装配体运动分析)、PRO/MECHANICA THERMAL (热分析)、PRO/MECHANICA TIRE MODEL (车轮动力仿真)、PRO/MECHANICA VIBRATION(震动分析)、PRO/MESH(有限元网格划分)。

d 制造(CAM)模块

在机械行业中用到的 CAM 制造模块中的功能是 NC Machining (数控加工)。说到数控功能，就不能不提八十年代著名的“东芝事件”。当时，苏联从日本东芝公司引进了一套五坐标数控系统及数控软件 CAMMAX，加工出高精度、低噪声的潜艇推进器，从而使西方的反潜系统完全失效，损失惨重。东芝公司因违反“巴统”协议，擅自出口高技术，受到了严厉的制裁。在这一事件中出尽风头的 CAMMAX 软件就是一种数控模块。

PRO/E 的数控模块包括：PRO/CASTING (铸造模具设计)、PRO/MFG (电加工)、PRO/MOLDESIGN (塑料模具设计)、PRO/NC-CHECK(NC 仿真)、PRO/NCPOST (CNC 程序生成)、PRO/SHEETMETAL (钣金设计)。

e 数据管理(PDM)模块

Pro/E 的数据管理模块就像一位保健医生，它在计算机上对产品性能进行测试仿真，找出造成产品各种故障的原因，帮助你对症下药，排除产品故障，改进产品设计。它就像 Pro/E 家庭的一个大管家，将触角伸到每一个任务模块。并自动跟踪你创建的数据，这些数据包括你存贮在模型文件或库中零件的数据。这个管家通过一定的机制，保证了所有数据的安全及存取方便。它包括:PRO/PDM(数据管理)、PRO/REVIEW(模型图纸评估)。

f 数据交换(Geometry Translate)模块

在实际中还存在一些别的 CAD 系统，如 UG、EUCLID、CIMATRON、MDT 等，由于它们门户有别，所以自己的数据都难以被对方所识别。但在实际工作中，往往需要接受别的 CAD 数据。这时几何数据交换模块就会发挥作用。Pro/Engineer 中几何数据交换模块有好几个，如:PRO/CAT(PRO/E 和 CATIA 的数据交换)、PRO/CDT(二维工程图接口)、PRO/DATA FOR PDGS(PRO/E 和福特汽车设计软件的接口)、PRO/DEVELOP(PRO/E 软件开发)、PRO/DRAW(二维数据库数据输入)、PRO/INTERFACE(工业标准数据交换格式扩充)、PRO/INTERFACE FOR STEP(STEP/ISO10303 数据和 PRO/E 交换)、

PRO/LEGACY(线架/曲面维护)、PRO/LIBRARYACCESS(PRO/E 模型数据库进入)、PRO/POLT(HPGL/POSTSCRIPTA 数据输出)。

Pro/Engineer 系统的主要特性体现在 3 个方面:

a 三维实体造型 (3D Solid Modeling)

将三维实体模型用于机械产品的 CAD/CAE/CAM 过程,用户可以随时计算出产品的质量、体积、惯性矩等相关的物理量、几何量,迅速了解产品的结构,方便掌握产品的信息,减少了人为计算时间。

b 完全相关性 (Full Associability)

相关性是指所有的 Pro/Engineer 的功能都相互关联。用户在产品开发过程的任一环节进行的修改,都将被传送到整个设计中,同时自动地将模型装配、平面工程图、模型加工数据等工程文档进行更新。全相关性鼓励在开发周期的任一点进行修改却没有任何损失,并且使并行工程成为可能。

c 基于特征的参数化建模 (Feature-based Para-metric Modeling)

特征造型被公认为是几何造型的发展趋势。在 Pro/Engineer 系统中,实体模型都是由一些工程特征组合而成的。该系统的 Pro/Feature 模块,提供了拉伸、旋转、孔、轴壳和变截面扫描等众多特征和特征构造方法,这些都为用户提供了设计复杂零件或实体模型的强有力工具。参数化设计就是将零件尺寸的设计用参数来描述,并在设计修改时通过修改参数值来更改零件的外形。这项参数化设计的功能不但改变了设计的概念,并且将设计的便捷性推进了一大步。

Pro/Engineer 软件产品的总体设计思想体现了 CAD 软件的发展趋势,Pro/Engineer 在国际 CAD 软件市场上已处于领先地位。目前已成为专业设计人员使用最为广泛的三维 CAD 设计工具之一,Pro/Engineer 目前共有 80 多个专用模块,涉及机械设计、工业设计、功能仿真、加工制造等,为用户提供全套解决方案,摆脱了二维设计的枯燥、实体感和空间感不强的缺点,为高效高质开发提供了可能。Pro/Engineer 软件对于机械零件和装配方面都是比较传统的项目,模块众多,所以在这个软件中可以任意地设计和组合。同时,在 Pro/Engineer 环境下的零件的实体制作、装配和运动仿真,可快速、准确地检测零部件间的干涉、运动特性,指导设计者直接、快速地修改模型,减少了开发时间,提高了三维建模和运动仿真精度和仿真效率,从而提高设计效率。

4.2.2 装配仿真概述

a 装配仿真的基本概念

每一台机器都是由若干个零部件组成的,将零部件组装成整台机器的过程称为装配。由于机器的复杂程度不同,零件的组合情况不同,在机械装配中,根据零件组合的特点,机械的组成单元有以下几种:

1) 零件

零件是机械组装的基本单元，它在结构上不能再分解。在装配中，有的零件是装配的基础，它具有配合基准面，可以保证装配在它上面的零件具有正确的相对位置，这种零件称为基础零件，例如减速机的底壳是整个装配体的基础。

2) 组件

组件由若干个零件组成，但不具有独立功能，不能独立发生作用，必须与其他零部件协调起来才能进行工作。

3) 部件(总成)

部件和总成由若干个组件或零件组成，具有结构上和作用上的独立性，这样的组件称为部件或总成。例如发动机是一个总成，而燃油泵、滤清器在性质上也可称作总成，但它们是安装在发动机这个总成上的，因此仍称作部件。

机械装配的过程，就是由零件组装成组件、由组件组装成部件、由部件组装成总成和最后组装成机械的过程。

利用计算机图形学和仿真技术，在计算机上模仿产品的实际装配过程的这一虚拟的装配过程，就是产品的装配仿真。装配仿真以最直观的效果、以可视化方式展示、验证并改进尚处在设计阶段的产品的可装配性，从而起到缩短产品开发周期、提高设计质量、降低装配成本的作用。现在有的三维 CAD 系统很多都能够建立产品装配模型，如 Pro/Engineer。它能提供草图、零件设计、部件装配设计、总装设计模块。Pro/Engineer 采用面向对象的统一数据库和全参数化造型技术，为三维实体造型提供一个优良的平台。其工业设计方案可以直接读取内部零件和装配文件，当原始造型被修改后，具有自动更新的功能。Pro/Engineer 能够支持零件详细设计后的装配设计，并能完成一些相关的操作，如干涉检查、装配体爆炸图生成等。

b 装配仿真的功能要求

对于装配仿真的功能要求，总的来说就是能进行几何可行性分析和机械可行性分析。几何可行性分析是指对于组成产品的各个级别的装配体的零部件进行装配空间上的动、静态干涉检查，即可以对产品的观测视角进行调整，进行局部区域的缩放，对于零部件的颜色进行不同的标识，并且能进行零部件装配过程中的装配路径设置、装配姿态调整、零部件的消隐、零部件在产品中定位位置的角度设置等功能。系统通过以上的功能，可以实现按用户设置的路径、姿态、顺序动画演示零部件的装配过程，演示过程中，可以进行装配过程中的动态几何可行性分析。而机械可行性分析是指能否建立起零部件之间的装配关系。

4.2.3 装配模型的几何实体信息

Pro/Engineer 软件是基于特征的实体造型软件，在零件建模时该软件即提供有线框、

消隐和渲染视图显示，还提供有默认的材料、渲染等，并且这些几何实体要素在 Pro/Engineer 中的处理比传统的 CAD 软件要方便的多。可以说，Pro/Engineer 提供了完备而准确的几何实体描述，因此在这里不再讨论零部件的几何实体描述，只对零部件的组织结构和空间位置的理论和方法进行详细的论述。

a 层次结构

人们在设计一个产品的时候，最先想到的不是单个零件的形状，而是整个产品的形状和它要完成的功能任务。伴随着设计的深入，整体的形状空间逐级划分同时功能也逐级分解，直到最后不必再分解之时，再进行零件的造型设计。用这种面向装配的设计方法产生的产品在逻辑结构上就会呈现出多层次性，因此装配模型也必须提供一种层次结构的记录机制来与之相适应。

在讨论装配模型之前，我们先对装配体中涉及到的一些专用名词进行界定。

零件(part): 即是通常意义上的零件，是装配体中最基本的物理组成元素，是不可拆分的几何实体，是详细设计中的具体设计对象。

子装配体(subassembly): 是装配体中逻辑组成元素之一，是在设计过程中确定的具有一定功能的逻辑实体，它由多个零件组合而成。

部件(component): 是装配体中最基本的逻辑组成元素，它是零件和子装配体的并集。

成品装配体(product): 是产品设计的结果，是最终体相设计者的设计意图、实现产品的预定功能的实体，它是由零件和子装配体组成的。

装配体模型最基本的组成单元是零件、子装配体和成品装配体。多层次的产品结构树(Assembly Structure Tree)的形式表达为：

$$\text{Assembly Structure Tree(AST)} = \{\{\text{Root}\}, \{\text{Component}\}, \{\text{Branch}\}\}; \quad (4-1)$$

其中 {Root} 为当前层的直接父结点，为成品装配体结点或子装配体结点；{Component} 为部件(零件和子装配体)的有限非空集合，可表示为 $\{\{\dots, \text{Subassembly}, \dots, \text{Subassembly}\}, \{\dots, \text{Part}_i, \dots, \text{Part}_m\}\}$ ；{Branch} 为有向边集，表示 {Component} 对 {Root} 的从属关系，可表示为 $\{\dots, B_i, \dots, B_p\}$ ；以上 B_i 为第 i 个从属关系， p 为 m 和 n 之和。一个产品可以表达成多个 AST 的组合。

用层次化结构表达产品对于可装配性检查有一个很大的潜在优势。首先结构化的产品表达式复杂的逻辑结构规约化，部件按功能聚合成为子装配体，每一个子装配体的可装配性决定了整个产品的可装配性，即：

$$\text{Assemhility}_{\text{product}} = \Sigma \text{Assemhility}_{\text{subassembly}} \cup \Sigma \text{Assemhility}_{\text{part}} \quad (4-2)$$

反过来我们可以通过验证每一个子装配体的可装配性来验证整个装配体的可装配性，使复杂的问题规约化为若干个子问题的并集。装配序列规划中的大部分算法都是基于图表达的，因此能够缩并部件联系图，这对于提高序列规划算法是非常有益的。其次，

层次结构是设计者在概念设计过程中逐步求精得到的, 设计者有意无意会按照装配经验和知识来组织零部件及它们之间的联系, 这样层次结构本身就隐含了一部分智能性的可行装配序列, 只不过设计者没有意识到或者有些序列是不正确的而已。所以完全可以利用这部分信息, 对它进行验证和调整, 使之真正成为实际工程应用的可行的装配工艺。

b 空间位置信息

零部件在装配体中总是占据一定的空间位置, 这一空间位置是通过零部件的空间位置信息来描述的。一个部件的空间位姿信息由两部分组成:一部分是位置信息, 描述部件的空间位置;另一部分是姿态信息描述部件的方向。部件的平动是通过部件的空间位置的改变来体现的, 部件的转动是通过部件的方向的改变来体现的。在 pro/E 中是用 4×4 阶齐次变换矩阵(Homogeneous Transformation Matrix)来表达零部件的空间位置信息的, 表示如下:

$$T = \begin{bmatrix} X_{r1} & X_{r2} & X_{r3} & 0 \\ Y_{r1} & Y_{r2} & Y_{r3} & 0 \\ Z_{r1} & Z_{r2} & Z_{r3} & 0 \\ X_s & Y_s & Z_s & 1 \end{bmatrix} \quad (4-3)$$

在式中有 12 个变量, 其中前 3 列和前 3 行构成的 3×3 阶子矩阵描述部件方向(即姿态), 后面三个变量描述部件位置。因此部件的平动相当于式中后三个变量的改变, 而部件的转动相当于式中前面的 3×3 阶子矩阵即向量 X, Y, Z 的改变。

早期的装配建模主要就是建立这类信息:几何实体信息由 CAD 造型系统来描述, 空间位姿的调整主要依靠用户手工直接计算并输入部件的变换矩阵来实现, 其结果是工作量大, 手工输入繁琐, 而且装配体内部子部件之间存在的位置关系在完成几何变化后容易丢失, 很不可靠。因此那时的 CAD 系统实用价值差。现在, 空间位姿的调整这部分工作由计算机根据配合联接约束导出的联立方程组自动求得变换矩阵, 或者由系统根据用户输入的参数计算出变换矩阵来实现, 从而极大的减少了用户的工作量。

4.2.4 装配模型的配合联接信息

装配体的配合联接信息即为构成装配体的所有零部件间的互相关联的信息, 它包括三维几何约束和拓扑联接关系。

三维几何约束就是装配体内各零部件的几何配合关系, 它把零部件约束在某个三维几何空间中, 使这些零部件只能在此特定的三维空间中或固定或运动。装配体中的各个零件是不可能孤立存在的, 它总是和周围的零件有联系, 各个零部件是有机的统一在一起的。只有这样, 装配体才能完成人们赋予它的预期功能。零部件间的这种关联性和有机统一性体现于各个零部件间的约束之中。这些约束包括设计变量约束和三维几何约束, 设计变量约束控制装配体中零件的实体, 三维几何约束确定零件的位置。

部件和部件之间的几何空间关系笼统来说是一种拓扑联接关系, 它描述的是一个零

表 4-1 面向工程的约束分类

Table4-1 Engineering oriented sort of constraint

约束类型	约束量	约束元素
同向共面 (Mate)	无	平面、基准面
非接触共面 (Mate Offset)	有	平面、基准面
同向对齐 (Align)	无	平面、基准面、边、轴线
同向距离对齐 (Align Offset)	有	平面、基准面、边、轴线
坐标系对齐 (Coord Sys)	无	坐标系
插入 (Insert)	无	回转面
同向 (Orient)	无	平面、基准面
相切 (Tangent)	无	回转面、平面、基准面、边、轴线条
点在线上 (Pnt on Line)	无	顶点、边、轴线
点点在面 (Pnt on Srf)	无	顶点、平面、基准面
边在面上 (Edge on Srf)	无	边、平面、基准面

件在另一个零件的内部、外部、上面、下面等的定性关系和它们相互之间的距离、角度等定量关系。这种关系可以通过约束关系来描述，这种约束关系最终反映到零件的最基本的元素上：一个装配约束作用于两个零件，实质上就是约束分属于两个零件上的两个几何元素，这些几何元素主要有点、直线、二次曲线、平面、二次曲面等，它可以是零件上实际存在的元素，也可以是零件的延伸或扩展，或者说是零件的虚拟部分，如基准和参考元素等。对这些虚拟元素的约束其实也就是对实体零件的约束。

上面我们论述过，点、线、面等几何元素之间的关系又存在着定性关系和定量关系两种，所以我们又把约束分为定性约束和定量约束。定性约束表示零件间的一种配合性质，如两平面共面，两轴同线等，是一种零件接触的关系，不能用数量来描述；定量约束表示零件之间的一种配合量。如两平面的距离、两线间的夹角等，能用数量来表达。定量约束有时也隐含着定性约束，如两平面间的距离约束首先必须要求两平面平行，才可能有平面之间的距离，这种平行约束就是一种定性约束。定性约束不能修改(Modify)，只能重新定义(Redefine)；定量约束的量可以修改，这种定量约束的可变性就是三维几何约束的动态性。

定性约束包括下面几种：同向共面、反向共面、共线、共点、线在面内、点在线上、点在面上、线面相切；定量约束包括面间距离、面间夹角、线间距离、线间夹角、点点距离、线面距离及夹角、点线距离。我们可以看出，定量约束的量为零时，定量约束就转化为定性约束，这种性质使约束可以替代、简化、分解。综合了以上几种定性和定量的约束，可以将它们归纳成如表所示的面向工程的约束形式，即为 Pro/E 中提供的装配约

束形式，零部件之间的三维几何约束信息的总和。三维几何约束是维系装配体中各零部件间的空间位置和相对运动的纽带。一般来说，一个部件的定位必须由两个或两个以上的三维约束完成。这些约束在建立装配模型，确定零部件在装配体中的相对空间位置时就建立起来了，它们是装配模型的重要组成信息之一。

4.2.5 装配模型中的设计约束信息

设计者设计的目的是为了得到最终的产品装配体，并实现产品的功能。因而在设计过程中，设计者的思路在一定程度上其实采用了“自上而下”的设计原则。但由于传统的设计中没有强有力的设计工具来管理设计约束，设计者在设计过程中修改一处错误时，由于形状特征和装配特征的相关性及零部件的详细设计与装配设计的相关性，如果修改一处错误则会造成多处的连锁反应，有时甚至是呈几何级数的增长，造成错误越改越多的结果与印象。所以在传统设计中，设计者的经验、知识、资历等主管因素对设计的结果影响很大。

为了让这种局面改观，建立装配模型应能够将产品的功能和设计意图转变为设计约束，并统一管理，让设计者能够随意查询或自动的进行约束传播。最终，产品的设计约束模型能够管理所有的零部件的形状特征和装配特征以及它们之间的约束关系，一旦某个形状特征或装配特征发生变化，模型能够根据设计约束关系将与变化了的特征相关的所有特征改变，从而保证整个设计的一致性。这就是设计约束在装配模型中的重要意义。Pro/E 的装配模型提供了强大而方便的设计约束的建立与编辑的功能。

设计约束分为两大类：一类是面向领域知识的约束，这部分约束一般是在设计过程中必须遵循的某个领域的常规知识。这种约束是先验式设计约束，在设计过程中由设计者选用以指导设计，或者通过专家系统来实现，即由系统自动地进行匹配，把领域知识表达的设计约束转化为设计模型中的设计约束。这种约束一般来讲都是静态的，或者变化较小。另一类约束是面向具体设计实例的设计功能和意图的约束，它是由产品功能和设计意图转变过来的设计约束。这种约束是为具体设计实例服务的，不同类型的产品，甚至同一类型不同型号的产品，其设计约束也有可能不同，这类约束是动态的，在设计过程中不断更新，或者和其它设计约束结合演变成新的约束，因此它不适合固定的知识表达式，只能用动态的约束网络来表达。

4.2.6 装配规则

装配规划即装配工艺规划形象的描述，就是指装配过程中按要求制定的装配计划，它研究产品装配体是用什么工具、沿怎样的路径、按照怎样的次序装配起来的。装配规划研究的重点是装配过程设计。装配过程设计相当复杂，它不但要受零部件设计的几何和功能的影响，而且受制造、装配过程以及经济性的影响。装配设计是一个创造性相当强的过程，而目前计算机的创造能力仍无法与人的创造能力相比拟。用户在进行装配规

划时,可以随意的调入任意装配模型进行零部件的拆卸与路径的调整,并可以根据个人的意愿任意的选择所要拆卸的零部件数目,如果用户不想继承建模者所建立的装配模型,也可以很方便的打破原有模型的子装配体等框架进行装配。同时也可以通过实时仿真功能可视化的验证规划的合理性与可行性,由于在这个模块中采用了一种特殊的动画生成模式,所以在整个仿真过程中,整个界面保持了激活状态,便于用户随时调整视角进行观察^{[24][25][26]}。

4.3 基于 Pro/Mechanism 的苹果去皮机仿真

4.3.1 Pro/Mechanism 简介

本课题采用 Pro/E 提供的机构仿真功能 PRO/MECHANISM 模块来实现机械手肋骨冷弯机整机的运动仿真。PRO/MECHANISM 模块完全集成在 Pro/E 中,可以分析机构的运动轨迹、位移、干涉等,还可以将仿真结果输出到其它文件中,生成 MPEG、JPEG 文件。

对于机构仿真,常用到以下术语:

(1) 主体:一个元件或没有相对运动的一组元件,作为主体的一组元件内部不存在任何自由度。

(2) 连接:定义并约束相对运动的各主体之间的关系。连接限制了各主体之间的相对运动,减少了系统的总自由度,并定义了一个元件在机构中可能具有的运动类型。

(3) 驱动器:驱动器的作用如同电动机,它以一个自由度在两个主体之间加上特殊运动。可以在连接轴或几何图元(如零件平面、基准平面和点)上放置驱动器,并指定构件之间的位置、速度和加速度运动。

(4) 接头:主体间的连接形式,其类型有销钉连接、轴承连接、移动杆和焊接等。

(5) 运动:取决于驱动器或负载的主体运动方式。

(6) 基础:一个固定的主体,其它主体相对于基础运动。

(7) 放置约束:组件中放置元件并限制该元件运动组件中的图元。

(8) 回放:录制并重新演示机构运动。可以查看前面已运行的机械运动定义^[7]。

4.3.2 Pro/Mechanism 仿真过程

PRO/MECHANISM 机构仿真的设计过程可分为两个基本步骤:一是定义一个机构,二是使其运动,其过程如下,图 4-1 为其详细工作流程说明。

(1) 进入 Pro/E 的装配模式进行元件连接;

(2) 进入“MECHANISM”(机构)添加“驱动器”:向模型中添加驱动器,为运动做好准备。驱动器应准确定义接头或几何图元之间运动副的连接关系,如旋转或平移;

(3) 如果有机构中存在“槽”、“凸轮”、或者“齿轮”从动件,则需要从动件的连接,因插针组件由齿轮驱动,故对其主动齿轮和从动齿轮添加“齿轮”连接条件;

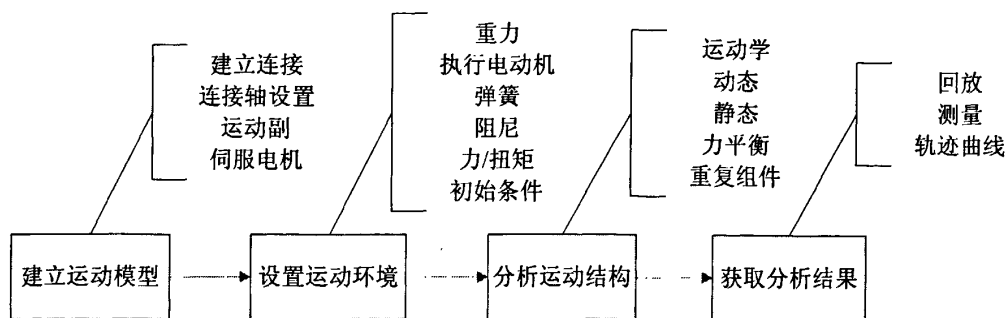


图 4-1 PRO/MECHANISM 机构仿真流程图

Fig4-1 PRO/MECHANISM framework simulation flow chart

- (4) 选择“运动分析”并创建运动纪录；
- (5) 选择“结果回放”来重新演示机械运动、检测干涉、定性分析从动运动特性、检查锁定配置，以及保存重新演示的运动结果，创建 MPEG、PJPEG 文件等；
- (6) 选择“测量结果”以图形方式查看位置结果。

运用 Pro/E 进行运动仿真，我们主要是进行机构运动学仿真，仿真机械零部件的真实运动，对设计进行检验，发现其中的问题并加以解决，防止造成生产上的浪费。另外还可以做成动画，方便产品的推介和展示^[27]。

4.3.3 基于 Pro/Mechanism 的苹果去皮机运动仿真

按照以下操作流程进行仿真：










- (1) 进入 Pro/Engineer 装配模式，以 connection 方式建立欲分析的机构组装；本设计中主要用到销钉  和滑动杆  连接方式，各主要连接设定如表 4-2 所示。


表 4-2 连接条件设置表

Table4-2 Junction condition setting list

零部件	连接名
圆盘主轴	销钉 
插针转轴	销钉 
插针电机轴	销钉 
V 形板气缸推杆	滑动杆 
压板气缸推杆	滑动杆 
插果机构导杆	滑动杆 
削皮机构横向导柱	滑动杆 
削皮机构竖向导柱	滑动杆 
切块机构气缸推杆	滑动杆 
卸载机构导向气缸推杆	滑动杆 
卸载机构竖向气缸推杆	滑动杆 

(2) 补足相关的运动配合条件；补充压板和托板运动的上下限位置，插针电动机转动速度，圆盘主轴的转动速度及间歇时间等。

(3) 设定初始位置；点击工具栏内的拍照  图标，弹出拖动对话框，点击拍照下拉箭头，然后拖动圆盘使一个插针与插果机构的工作中心重合，然后点击  图标，拍摄快照作为起始位置。

(4) 加入驱动条件；由主菜单“应用程序-机构”进入运动仿真模块，单击右侧工具栏中的  图标，定义所需要的伺服电动机，以压板伺服电动机定义为例，伺服电动机类型定义对话框及伺服电动机参数定义如图 4-2、4-3 所示。

(5) 设定分析条件并仿真；根据苹果去皮机整机工作规律设定所有伺服电动机均在整个周期运转（各伺服电动机启停时间均已在伺服电动机定义时设定好）。


(6) 播放分析结果；按工具栏右侧的  按钮，将整机按照设定的分析条件进行运动仿真。



图 4-2 伺服电动机类型定义对话框
Table4-2 Dialog box of defining servomotor



图 4-3 伺服电动机参数定义对话框
Fig4-3 Dialog box of defining servomotor parameters

伺服电机是苹果去皮机的仿真关键所在。只有电机的运动方程设定准确，各工作部件合理有序工作，才能实现去皮机的正确运动。在去皮机的运动部件中，圆盘作旋转运动，插果机构、切块机构、卸载机构作直线运动，可用来回电机或者转向电机分别实现。对于圆盘的间歇回转运动，采用分段函数来实现。伺服电机添加后如图 4-4 所示。

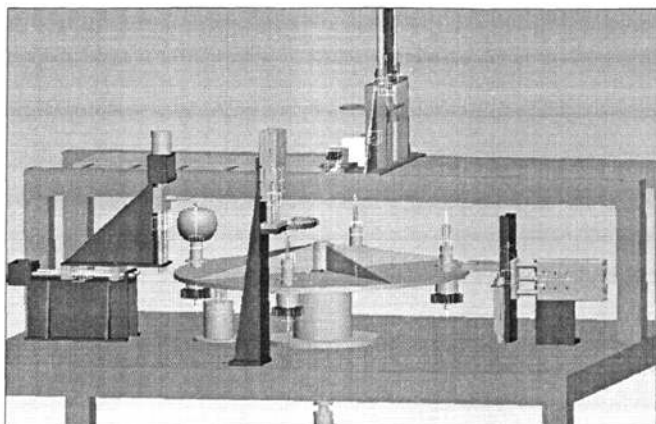
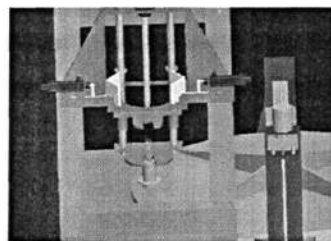
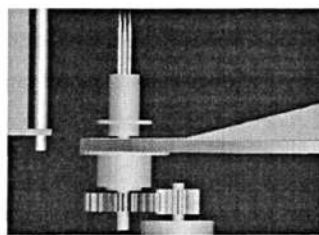


图 4-4 伺服电机添加后截图
Fig4-4 Drawing after append servomotor

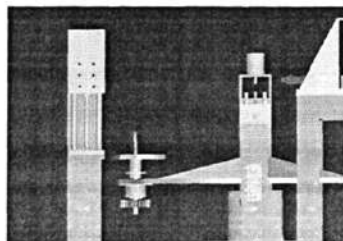
仿真完成后查看仿真结果，以及进行相关的后处理，包括各零部件的受力状况、各工作部件的干涉状况，本设计中只关心部件的干涉状况，因此，后处理只进行干涉检查。经过干涉检查，若有零部件发生干涉，计算机将会以加亮的方式将干涉零件标出，我们可以根据计算机处理结果进行相关的处理，如修改模型、修改运动参数等。我们还可以利用回放功能来模拟运动和保存动画，如图 4-5 所示为去皮机的几个关键动作的动画截屏。



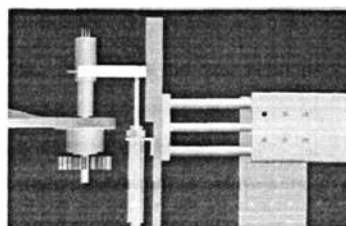
a) 插果机构工作图



b) 削皮工位插针传动图



c) 切块机构工作图



d) 卸载机构工作图

图 4-5 动画回放关键动作截屏

Fig4-5 animation playback cut screen of the key actions

5 关键部件有限元分析和优化设计

插果机构是苹果去皮机的关键部件,利用此机构实现苹果的自动供料,其结构和尺寸的设计是否合理关系机构的工作效率和工作性能,因此对其结构的精确分析和优化设计尤其重要。

5.1 有限元方法与 ANSYS 简介^{[28][29]}

5.1.1 有限元法简介

有限元法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代计算方法,是 20 世纪 50 年代首先在连续力学领域——飞机结构静、动态特性分析中应用的一种有效的数值分析方法,随后很快就广泛地应用于求解热传导、电磁场、流体力学等连续性问题。

比如用有限单元法对长圆柱体进行的变形和应力分析,采用八节点四边开等参数单元把长圆柱体划分成网格,这些网格称为单元。网格间相互连接的交点称为节点,网格与网格的交界线称为边界。显然,节点数是有限的,单元数目也是有限的,所以称为“有限单元”。这就是“有限元”一词的由来。

有限元分析是物理现象(几何及载荷工况)的模拟,是对真实情况的数值近似。通过对分析对象划分网格,求解有限个数值来近似模拟真实环境的无限个未知量。

5.1.2 ANSYS 简介及其基本分析步骤^[30]

ANSYS 软件是融合结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元分析软件,可广泛用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、汽车交通、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、日用家电等一般工业及科学研究。该软件可在大多数计算机及操作系统中运行,从 PC 到工作站直到巨型计算机,ANSYS 文件在其所有的产品系列和工作平台上均兼容。ANSYS 的多物理场耦合功能,允许在同一模型上进行各式各样的耦合计算成本,如:热-结构耦合、磁-结构耦合以及电-磁-流体-热耦合,在 PC 上生成的模型同样可运行于巨型机上,这样就确保了 ANSYS 对多领域多变工程问题的求解。

ANSYS 分析过程中包含三个主要的步骤^[31]:

a 创建有限元模型

1) 创建或读入几何模型。

(1) 根据实体模型按照给定的尺寸建立模型或者直接导入已经生成的几何模型,并对其进行一定程度的修复、简化等。

(2) 定义单元类型,设定实常数、定义材料的属性:对于任何分析,必须在单元类型库中选择一个或几个合适的单元类型,单元的类型决定了附加的自由度(位移、转角,温度等)。许多单元还要设置一些单元的选项,诸如单元特性和假设等。

(3) 设定实常数:有些单元的几何特性,不能仅用其节点的位置充分表示出来时,就需要提供一些实常数来补充几何信息。

(4) 定义材料属性:材料属性是与几何模型无关的本构属性^[2],例如杨氏模量、密度等。虽然材料属性并不与单元类型联系在一起,但由于计算单元刚度矩阵时需要材料属性,所以在此要对材料的属性进行相关的定义。

2) 划分网格(节点及单元)

在做好上述的所有工作后,接下来就是对实体模型进行网格划分,此步尤为关键,因为网格划分的好坏将直接影响到计算结果的精确度与收敛性。根据模型的拓扑结构决定采用映射网格还是自由网格,之后对网格的尺寸进行设定,对关心的部位或者危险部位进行必要的网格细化。总之,网格要足够细,才能保证结果的精确性。

b 施加载荷及求解

1) 施加载荷及载荷选项、设定约束条件

(1) 施加约束:根据具体情况对有限元模型进行约束设定。

(2) 施加载荷:包括集中载荷、面载荷、体载荷、惯性载荷等。

2) 求解

(1) 选择求解器:ANSYS 提供了两个直接求解器:波前求解器、稀疏矩阵求解器,同时还提供了三个迭代求解器:PCG, JCG, ICCG。因此,能否选择合适的求解器直接影响求解的速度和结果的精确度。

(2) 进行求解。

c 后处理

1) 查看结果

静态分析的结果写入结果文件,结果由以下数据构成:

基本数据——节点位移(UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ)

导出数据——节点单元应力、单元应变、单元集中力、节点反力等。

2) 分析结果

可直接利用 LIST 列出结果数据,也可通过等值线、矢量图等形式对结果进行观察分析。

5.2 苹果去皮机插果机构的受力分析及有限元分析^[3]

5.2.1 压板载荷分析

插果机构利用压板将苹果压向苹果插针,压板所受各力如图 5-1 所示为压板从最上方运动到最下方时的受力, F_1 为压板受苹果的反作用力, f 为压板受苹果的摩擦力, F_2 为气缸作用于压板的压力,导柱作用于压板的作用力未画出,苹果和钢的摩擦系数可按 $\mu=0.25$ 计, $F_1=80N$, 则

$$f = \mu \cdot F1 = 0.25 \times 80 = 20\text{N} \quad (5-1)$$

F2 则在气缸的调节下与以上各力平衡，使压板在平衡状态下完成压果动作。

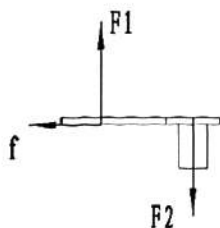


图 5-1 压板受力分析图

Fig5-1 Stress analysed chart pressing plate

5.2.2 压板有限元分析

通过静力学分析可验证机架的刚性及强度，按以下步骤对压板进行静力分析：

(1) 采用 Pro/Engineer 建模，将模型以实体形式保存为 IGES 格式导入 ANSYS。

(2) 设定单元类型，选择 10NODE92^[34]单元类型，该单元类型是专门用于解决三维问题的单元类型。

(3) 定义材料属性：静力学分析只需定义材料的弹性模量和泊松比，45 钢的弹性模量定义为 2×10^{11} MPa，泊松比为 0.3；

(4) 网格划分：网格密度为 0.005；划分网格，网格划分结果如图 5-2 所示。

(5) 定义初始约束：

(6) 施加载荷：在四个螺孔的半个圆柱面上施加均布载荷，压强为 10Mpa。

(7) 结果分析：按照 5.1.1 所分析的受力对压板加载载荷，可以等效应力云图来显示模型载荷，如图 5-3 所示。从图中观察可知压板伸出端与主体的联结处应力集中较严重，可将直角改为圆角过渡。压板受最大应力为 0.302×10^8 Pa，最大变形为 0.96×10^{-4} m。

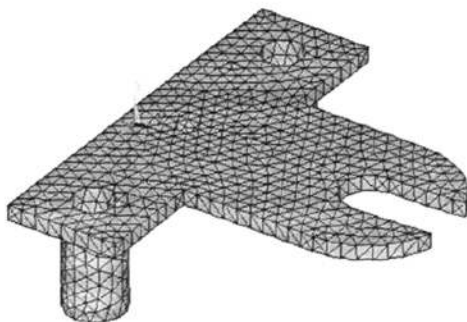


图 5-2 压板有限元划分网格结果

Fig5-2 Meshing result of the pressing plate

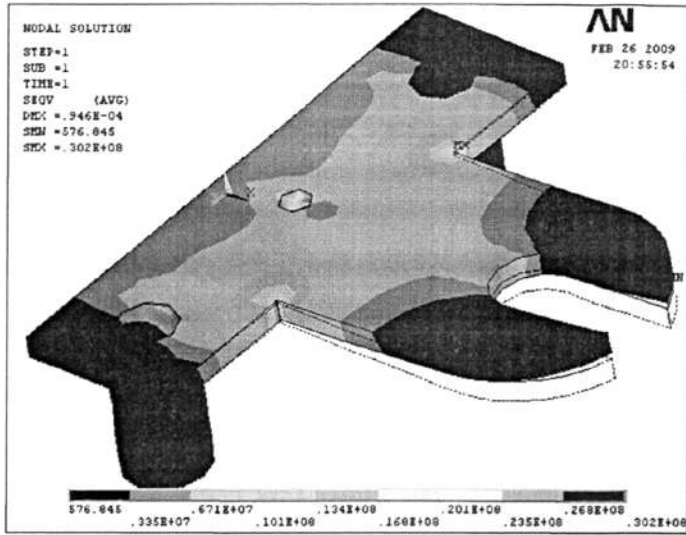


图 5-3 压板有限元分析结果

Fig5-3 Result of the pressing plate finite element analysis

5.4 压板的优化设计

5.4.1 优化设计介绍^[28]

优化设计是一种寻找确定最优设计方案的技术。所谓“最优设计”，指的是一种方案可以满足所有的设计要求，而且所需的支出(如重量，面积，体积，应力，费用等)最小。也就是说，最优设计方案就是一个最有效率的方案。

设计方案的任何方面都是可以优化的，比如说：尺寸(如厚度)，形状(如过渡圆角的大小)，支撑位置，制造费用，自然频率，材料特性等。实际上，所有可以参数化的 ANSYS 选项都可以作优化设计。ANSYS 程序提供了两种优化的方法，这两种方法可以处理绝大多数的优化问题。零阶方法是一个很完善的处理方法，可以很有效地处理大多数的工程问题。一阶方法基于目标函数对设计变量的敏感程度，因此更加适合于精确的优化分析。

对于这两种方法，ANSYS 程序提供了一系列的分析—评估—修正的循环过程。就是对于初始设计进行分析，对分析结果就设计要求进行评估，然后修正设计。这一循环过程重复进行直到所有的设计要求都满足为止。

除了这两种优化方法，ANSYS 程序还提供了一系列的优化工具以提高优化过程的效率。例如，随机优化分析的迭代次数是可以指定的。随机计算结果的初始值可以作为优化过程的起点数值。

5.4.2 优化设计中的基本概念

在介绍优化设计过程之前，我们先给出一些基本的定义：设计变量，状态变量，目标函数，合理和不合理的设计，分析文件，迭代，循环，设计序列等。

(1) 设计变量(DVs)为自变量, 优化结果的取得就是通过改变设计变量的数值来实现的。每个设计变量都有上下限, 它定义了设计变量的变化范围。

(2) 状态变量(SVs)是约束设计的数值。它们是“因变量”, 是设计变量的函数。状态变量可能会有上下限, 也可能只有单方面的限制, 即只有上限或只有下限。

(3) 目标函数(OBJ)是要尽量减小的数值。它必须是设计变量的函数, 也就是说, 改变设计变量的数值将改变目标函数的数值。压板的总重量应该是目标函数。在 ANSYS 优化程序中, 只能设定一个目标函数。

(4) 设计变量、状态变量和目标函数总称为优化变量。在 ANSYS 优化中, 这些变量是由用户定义的参数来指定的。用户必须指出在参数集中哪些是设计变量, 哪些是状态变量, 哪是目标函数。

(5) 一个合理的设计是指满足所有给定的约束条件(设计变量的约束和状态变量的约束)的设计。如果其中任一约束条件不被满足, 设计就被认为是不合理的。而最优设计是既满足所有的约束条件又能得到最小目标函数值的设计。(如果所有的设计序列都是不合理的, 那么最优设计是最接近于合理的设计, 而不考虑目标函数的数值。)

(6) 分析文件是一个 ANSYS 的命令流输入文件, 包括一个完整的分析过程(前处理, 求解, 后处理)。它必须包含一个参数化的模型, 用参数定义模型并指出设计变量、状态变量和目标函数。由这个文件可以自动生成优化循环文件(Jobname.LOOP), 并在优化计算中循环处理。

(7) 一次循环指一个分析周期(可以理解为执行一次分析文件)。最后一次循环的输出存储在文件 Jobname.OPO 中。优化迭代(或仅仅是迭代过程)是产生新的设计序列的一次或多次分析循环。一般来说, 一次迭代等同于一次循环。但对于一阶方法, 一次迭代代表多次循环。

(8) 设计序列是指确定一个特定模型的参数的集合。一般来说, 设计序列是由优化变量的数值来确定的, 但所有的模型参数(包括不是优化变量的参数)组成了一个设计序列。

优化数据库—记录当前的优化环境, 包括优化变量定义, 参数, 所有优化设定, 和设计序列集合。该数据库可以存储(在文件 Jobname.OPT), 也可以随时读入优化处理器中。

分析文件必须作为一个单独的实体存在, 优化数据库不是 ANSYS 模型数据库的一部分。共有两种方法来实现 ANSYS 优化设计: 批处理方法和通过 GUI 交互方式地完成。

5.4.3 优化设计步骤

优化设计通常包括如图 5-4 所示几个步骤, 这些步骤根据用户所选用的优化方法的不同(批处理、GUI 方式)而有细微的差别。

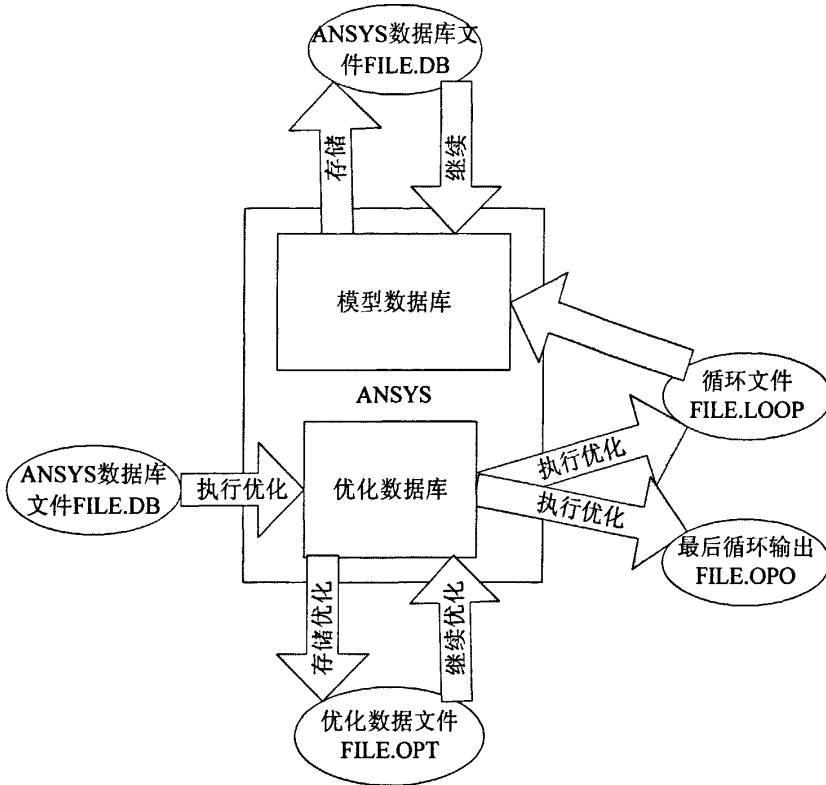


图 5-4 优化数据流向

Fig5-4 Optimizing data current direction

其中生成循环所用的分析文件必须包括整个分析的过程，而且必须满足以下条件：

- (1) 参数化建立模型 (PREP7)。
- (2) 求解 (SOLUTION)。
- (3) 提取并指定状态变量和目标函数 (POST1/POST26)。
- (4) 在 ANSYS 数据库里建立与分析文件中变量相对应的参数。这一步是标准的做法，但不是必须的 (BEGIN 或 OPT)。

- (5) 声明优化变量。
- (6) 选择优化工具或优化方法。
- (7) 指定优化循环控制方式。
- (8) 进行优化分析。
- (9) 查看设计序列结果 (OPT) 和后处理 (POST1/POST26)。

5.4.4 压板优化设计数学模型的建立^[42]

a 设计变量

根据 5.2.2 部分的分析，如图 5-5 所示，在压板的伸出端与主体的连接处增加圆角过渡，选取圆角的半径 R 与压板的厚度 B 作为设计变量， $0 \leq R \leq 30$ ， $0 \leq B \leq 10$ 。

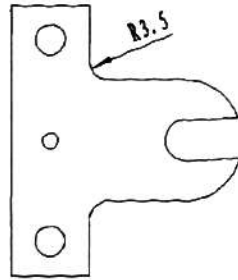


图 5-5 压板平面图
Fig5-5 Pressing plate drawing of site

b 状态变量

由 5.2.2 部分分析知，压板的伸出端与主体的连接处应力集中较严重，故选取圆弧中间处节点应力 σ 为状态变量，定义其最大值为 $0.355 \times 10^9 \text{Pa}$ 。

c 目标函数

取压板重量最小作为目标函数。

压板优化设计的数学模型为：

$$\begin{cases} M \inf(x) \\ X = [x_1, x_2] = [R, B] \\ 0 \leq R \leq 30 \\ 0 \leq B \leq 10 \\ 0 \leq \text{Max}(\sigma) \leq 0.355 \times 10^9 \end{cases} \quad (5-2)$$

5.4.5 优化设计及其结果

为了优化模型，我们将模型简化，由于载荷施加于压板弧形开口与导柱孔之间的部分，因此可将其外部圆弧部分略去，其优化前载荷分析如图 5-6 所示。此模型中已定义了压板厚度 B ，过渡圆角半径 R 等设计变量。由图中可见，过渡圆角半径较小，产生应力集中大小为 $0.252 \times 10^{10} \text{Pa}$ ，下面我们将对其进行优化。

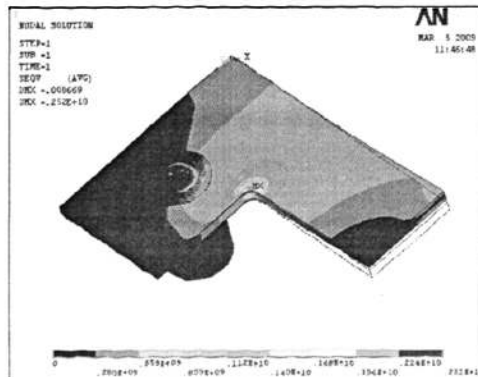


图 5-6 简化模型载荷分析
Fig5-6 Simplified model load analysis

各节点载荷列表如下图 5-7 所示，观察可知图中节点 10 所受等效力最大，其值为 $0.25126 \times 10^{10} \text{Pa}$ 。选 σ_{10} 作为状态变量。

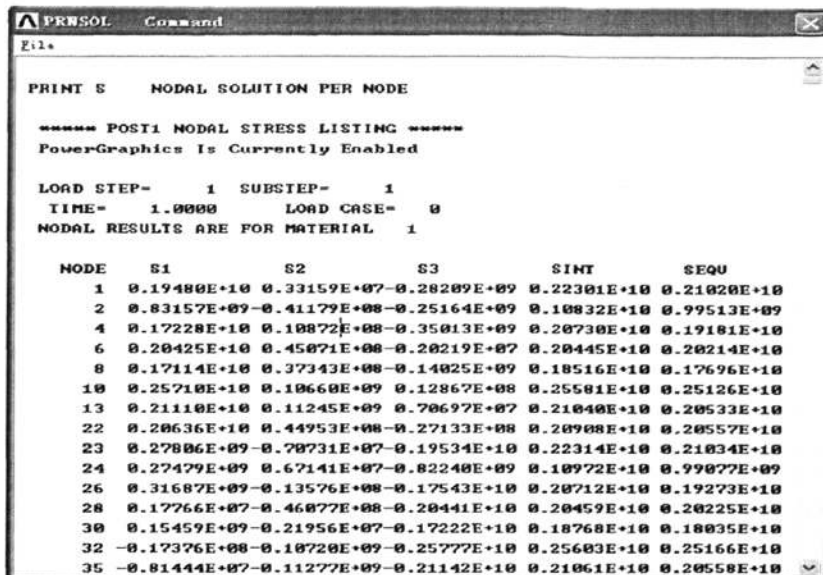


图 5-7 节点载荷列表
Fig5-7 List of nodal load

依次定义设计变量、状态变量、目标函数并存储优化数据库，执行优化，优化方法选择 First-order，设定迭代次数为 30。

最后经优化列出结果如下：两设计变量为 $B=0.33 \times 10^{-2}$ ， $R=0.51 \times 10^{-2}$ ，状态变量 $V=0.1537 \times 10^{-4}$ 。利用优化后的尺寸重新对压板进行有限元分析，结果表明压板伸出端与主体联结处应力集中消除了，应力数值明显减小，最终压板的应力及变形分析如图 5-8 所示。压板所承受最大载荷为 $0.684 \times 10^8 \text{MPa}$ ，远远小于优化前的 $0.252 \times 10^{10} \text{MPa}$ ，并能满足压板工作载荷要求。

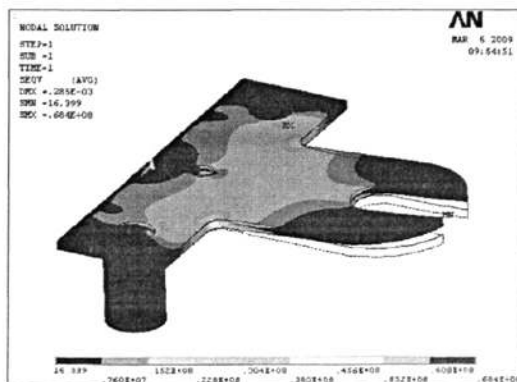


图 5-8 优化后有限元分析
Fig5-8 Finite element analysis after optimization

5.5 本章小结

本章对插果机构的关键部件压板进行了详细的应力分析，并给出相关改进方案；通过对压板的优化设计得到较为合适的压板尺寸，为插果机构工作效率的提高奠定基础。

6 总结与展望

6.1 总结

本次毕业设计已经结束了,在这次毕业设计中,我学到了不少东西,也发现了不少问题。总的来说,本次毕业设计的预期工作都已基本完成,完成了全自动苹果去皮机的整机建模,相关的结构计算及全自动苹果去皮机关键零部件的优化设计。

本文在苹果去皮机国内外现有成果的基础上,针对国内苹果加工企业去皮工序自动化程度低的现状,设计全自动苹果去皮机及其送料装置,研究了基于特征技术的 Pro/Engineer 建模、装配及动态仿真,通过对全自动拼过去皮机动态仿真的研究,分析了该机器的工作过程及各零部件之间的干涉情况。并利用有限元分析软件 ANSYS 对全自动苹果去皮机的关键部件进行静态结构分析、参数化建模的优化设计,在静态结构有限元分析前,对压板模型进行合理的简化,既能不使运算失真,又提高了计算效率,利用 Pro/Engineer 建立压板三维实体有限元分析模型并保存位 IGES 格式导入 ANSYS 进行分析。

同时运动仿真也是本文的另一个重点,关于仿真的研究目前有很多,本文根据全自动苹果去皮机设备的特点,结合 Pro/Mechanism 对全自动苹果去皮机运动仿真进行了研究,对设计中的各零部件的运动规律进行了详细设计,有效提高工作效率,同时保持整机零部件互不干涉。

最后,本文的几个部分并不是孤立的分块,利用 Pro/E 的参数化设计使得他们之间有紧密的关系。本文的总体目标是把全自动苹果去皮机的整个设计工作都纳入到 Pro/E 的体系当中,形成一个系统,所有的设计数据和资料以 Pro/E 为基础实现无缝连接,从而大大提高设计的效率和设计的准确性、可靠性。

当然,本文的设计还远远不足,有许多工作需要我们在以后去完善。

6.2 展望

1) 在压板静态应力分析计算中,还需要进一步研究载荷的施加方式,包括各种载荷的精确计算,还要考虑到压板使用中的变形问题,同时还应考虑圆盘主轴的尺寸是否能够满足圆盘在其上作间歇转动所需的刚度要求,并对其作精确分析。

2) 其次,全自动苹果去皮机参数化的零部件有待丰富,争取实现各类果品去皮机相关零件的总参数化库;结构分析需要继续做下去,最终实现整机的优化设计,做到可靠性、成本与效益的最优结合;苹果在输送带与插果机构的衔接需要继续研究最优的方案。工程图的研究也是一个重点,工程图就是把三维实体图转化为二维生产加工图纸与资料,本文没有涉及,由于国内目前主要是采用二维平面图来指导生产,这也是我们今后研究的一个关键点。

致 谢

值此论文定稿之际，深深感谢导师陈海峰教授两年多来在学习和生活中给予我的谆谆教诲和悉心关怀。陈老师在整个研究生阶段给我提供了良好的学习、科研环境，特别是在论文选题、课题研究和论文撰写的整个过程中，陈老师给予了我精心的指导和热情的鼓励。回忆两年多来的求学生活，陈老师严谨求实的治学作风、扎实勤勉的工作态度、诲人不倦的高尚品德、谦谦君子的个性修养，都使我终身难忘。

在本课题研究过程中得到了同学田振亚、张翠珠的指导和帮助，在此深表谢意！

感谢我的父母及家人多年来对我学习的全力支持和生活上的关心照顾！

最后向在百忙之中抽出宝贵时间评审我论文的专家、学者致以崇高的敬意！

参考文献

- [1] 朱剑凯. 浅谈我国苹果加工业的现状与发展趋势[J]. 河南农业, 2008 (3): 45.
- [2] 张晋民. 膨化苹果酥片生产工艺研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2002 (7): 54-55.
- [3] 成明扬, 李士杭, 孙继平. 香甜苹果片的加工[J]. 云南农业科技, 2004 (1): 12.
- [4] 陈海峰, 张建宁, 张翠珠. 全自动苹果去皮机供料系统设计与PLC控制[J]. 食品与机械, 2009 (1): 106-108.
- [5] 杨林青, 马海乐. 果品加工机械与设备[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1993. 60-63.
- [6] 周钦红, 张东兴. 苹果分选机输送定位机构的设计[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(5): 36-39.
- [7] 张聪. 测量光幕于水果分级设备中的应用研究[J]. 包装工程, 2002, 23 (6): 35-38.
- [8] 章海亮, 左雪平. 苹果自动分级中计算机视觉信息处理技术的研究[J]. 农机化研究, 2006(1):28-30.
- [9] 毛卫平, 顾建. PLC在气压传动控制实验中的应用[J]. 机床与液压, 2004(4):148-149.
- [10] 刘美俊. PLC控制系统的设计与安装[J]. 中华纸业, 2007,28(11):47-51.
- [11] 张发玉. 可编程序控制器应用技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006. 11-21, 191-196.
- [12] 王建立, 焦群英等. 用ANSYS计算苹果组织的动态响应[J]. 农机化研究, 2004,(5):87-89.
- [13] 濮良贵, 纪铭刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 90-91, 97, 377-392.
- [14] 广东工业大学机电工程学院 广东省计算机集成制造(CIMS)重点实验室 VR研究室 & 机械制造研究所. 滚珠丝杠副传动系统[EB/OL].
<http://metc.gdut.edu.cn/jxzb/part2/part2-chapter3-202.html>, 2009-01-03.
- [15] 张植保. 电动机原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. 196-198.
- [16] 庞启淮. 小功率电动机选择与应用技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998. 98-99.
- [17] 松下电工(中国)有限公司. 全数字式交流伺服电机与驱动器[Z]. 北京: 松下电工(中国)有限公司, 2007.
- [18] 中国工控网. 伺服电动机的集中制动方式 [EB/OL].
<http://www.gongkong.com/Forum/ForumTopic.aspx?Id=2009021911042500001>
- [19] 鄂大辛. 液压传动与气压传动[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [20] 张继春, 杨建国. 装配设计与运动仿真及Pro/E实现[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [21] 沈利霞. 渐开线齿轮齿廓的仿真设计[J]. 江汉大学学报, 2002, 19(1): 75-76.
- [22] 何满才. 三维造型设计——Pro/ENGINEER Wildfire中文版实例详解[M]. 北京: 人民

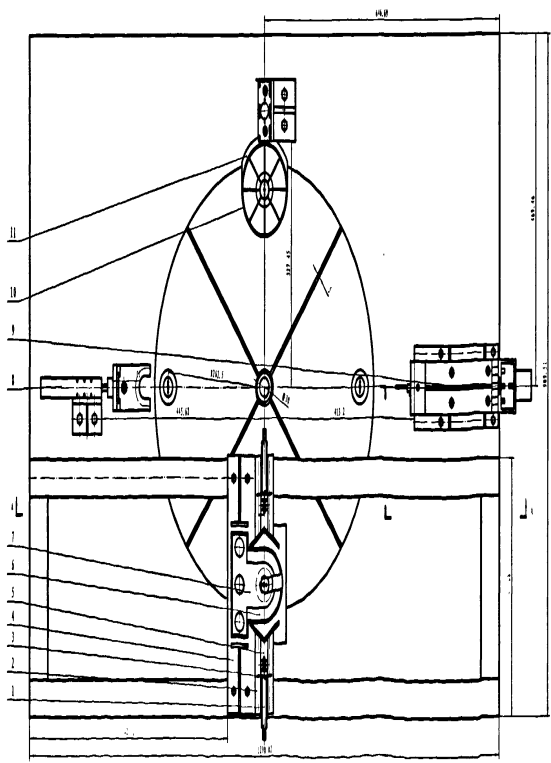
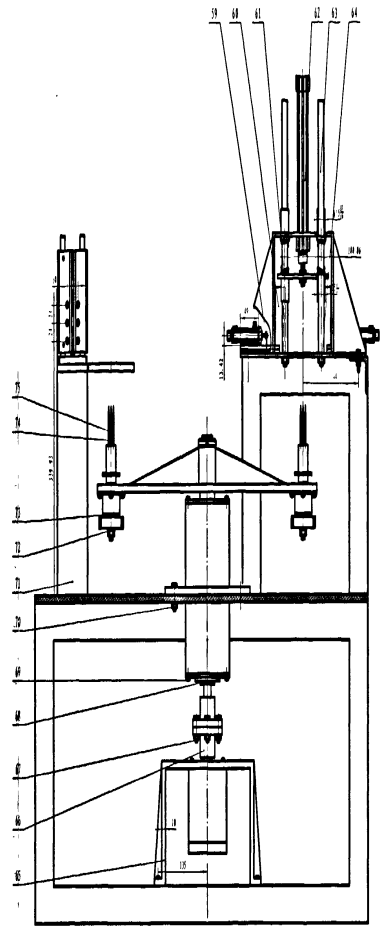
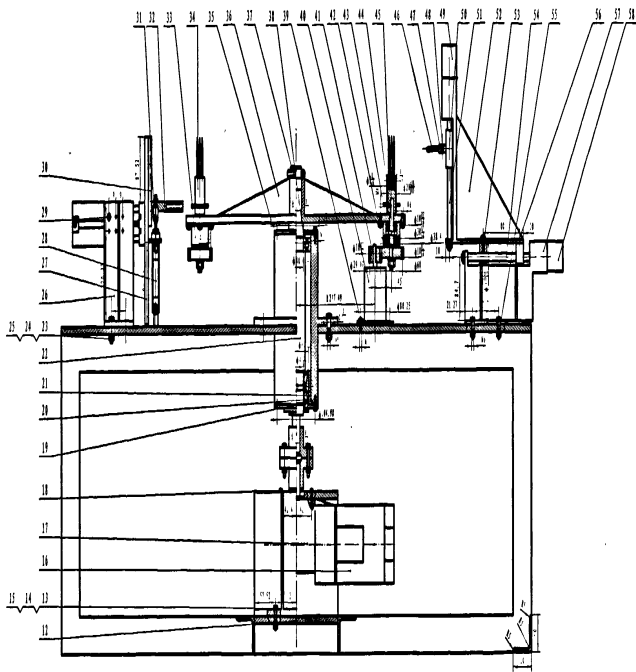
邮电出版社, 2005。

- [23] 刘海芳. Pro/ENGINEER Wildfire环境下的实体造型装配设计[J]. 机械设计与制造, 2004 (2):27-28.
- [24] 张超, 张益华. Pro/E二次开发技术在齿轮三维参数化设计中的应用[J]. 南京工业职业技术学院学报, 2004, 4(1):22-24.
- [25] 张继春等. Pro/ENGINEER Wildfire结构分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [26] 方建军等. 机械动态仿真与工程分析——Pro/ENGINEER Wildfire工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [27] 褚德英. 刮板输送机三维造型设计与仿真硕士学位论文[D]. 辽宁工程技术大学, 2003.
- [28] 王庆五, 左昉, 胡仁喜等. ANSYS10.0机械设计高级应用实例(第2版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.2-9.
- [29] 高耀东, 郭喜平. ANSYS机械工程应用25例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.256-268.
- [30] 邓凡平. ANSYS10.0有限元分析自学手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.301-315.
- [31] Saeed Moaveni, Finite element analysis theory and application with ANSYS, Pearson Education, 2003
- [32] 王连坤, 郝际平等. 空间钢框架几何非线性分析的新梁2柱单元[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2008, 40: 53-59
- [33] 王富耻, 张朝辉. ANSYS10.0有限元分析理论与工程应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006. 251-265.
- [34] Barmac K. Taleghani, Validation of high displacement piezoelectric actuator finite element models, Proc. SPIE, 2000.
- [35] Long Wu. A Study on Automatic Control of Wheel Loaders in Rock/Soil Loading (D). The dissertation of the Degree of Doctor of Philosophy, The University of ARIZONA Graduate College, 2003.
- [36] C. Schlensock, D. van Riesen, and G. Henneberger, Introduction to the finite-element method-modeling, calculation, and visualization-a tutorial, IEE Conf. Pub, 2004.
- [37] NordeH, Patrone F, Stef T. Characterizing Properties of approximate solutions for optimization Problems. Mathematical Social Sciences, 2000 (40):297-311.
- [38] L. F. M. Kui jt-Eversa, F. Krausea, P. Vink. Aspects to improve cabin comfort of wheel loaders and excavators according to operators[J]. Applied Ergonomics, 2003(34):265-271.

- [39] R. Spinellia, B. R. Hartsoughb. Extracting whole short rotation trees with a skidder and a front-end loader [J]. Biomass and Bioenergy, 2001(21): 425-431.
- [40] 王芳, 张印辉, 赵美宁. 基于ANSYS的滚筒模态分析[J]. 包装工程, 2005, 26: 73-75.
- [41] 王春艳, 李树森. 桥式起重机结构动力分析[J]. 林业机械与木工设备, 2007, 35: 20-21.
- [42] 段进, ANSYS 10.0结构分析从入门到精通. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [43] 白蔚, 渝海良. 通用有限元分析ANSYS8.0基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [44] 胡仁喜, 王庆五. ANSYS8.2机械设计高级应用实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [45] 张朝晖. ANSYS8.0结构分析及实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

攻读学位期间发表论文

- [1] 陈海峰, 张建宁, 张翠珠. 全自动苹果去皮机供料系统设计与 PLC 控制[J]. 食品与机械, 2009 年第 1 期。
- [2] 张建宁, 陈海峰. ANSYS 压铸模温度场及应力场数值模拟[J]. 铸造设备研究, 2008 年第 3 期, 34-36.



序号	名称	数量	比例	材料	备注	图号	比例	材料	备注
1	轴	1	1:1	45					
2	轴套	1	1:1	HT15					
3	轴套	1	1:1	HT15					
4	轴套	1	1:1	HT15					
5	轴套	1	1:1	HT15					
6	轴套	1	1:1	HT15					
7	轴套	1	1:1	HT15					
8	轴套	1	1:1	HT15					
9	轴套	1	1:1	HT15					
10	轴套	1	1:1	HT15					
11	轴套	1	1:1	HT15					
12	轴套	1	1:1	HT15					
13	轴套	1	1:1	HT15					
14	轴套	1	1:1	HT15					
15	轴套	1	1:1	HT15					
16	轴套	1	1:1	HT15					
17	轴套	1	1:1	HT15					
18	轴套	1	1:1	HT15					
19	轴套	1	1:1	HT15					
20	轴套	1	1:1	HT15					
21	轴套	1	1:1	HT15					
22	轴套	1	1:1	HT15					
23	轴套	1	1:1	HT15					
24	轴套	1	1:1	HT15					
25	轴套	1	1:1	HT15					
26	轴套	1	1:1	HT15					
27	轴套	1	1:1	HT15					
28	轴套	1	1:1	HT15					
29	轴套	1	1:1	HT15					
30	轴套	1	1:1	HT15					
31	轴套	1	1:1	HT15					
32	轴套	1	1:1	HT15					
33	轴套	1	1:1	HT15					
34	轴套	1	1:1	HT15					
35	轴套	1	1:1	HT15					
36	轴套	1	1:1	HT15					
37	轴套	1	1:1	HT15					
38	轴套	1	1:1	HT15					
39	轴套	1	1:1	HT15					
40	轴套	1	1:1	HT15					
41	轴套	1	1:1	HT15					
42	轴套	1	1:1	HT15					
43	轴套	1	1:1	HT15					
44	轴套	1	1:1	HT15					
45	轴套	1	1:1	HT15					
46	轴套	1	1:1	HT15					
47	轴套	1	1:1	HT15					
48	轴套	1	1:1	HT15					
49	轴套	1	1:1	HT15					
50	轴套	1	1:1	HT15					
51	轴套	1	1:1	HT15					
52	轴套	1	1:1	HT15					
53	轴套	1	1:1	HT15					
54	轴套	1	1:1	HT15					
55	轴套	1	1:1	HT15					
56	轴套	1	1:1	HT15					
57	轴套	1	1:1	HT15					
58	轴套	1	1:1	HT15					
59	轴套	1	1:1	HT15					
60	轴套	1	1:1	HT15					
61	轴套	1	1:1	HT15					
62	轴套	1	1:1	HT15					
63	轴套	1	1:1	HT15					
64	轴套	1	1:1	HT15					

陕西科技大学
机械工程学院

全自动苹果去皮机的设计与仿真

作者: [张建宁](#)
学位授予单位: [陕西科技大学](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1644121.aspx

授权使用: 上海交通大学(shjtdxip), 授权号: 0d010554-115e-4226-8ad3-9e1a0177d536

下载时间: 2010年10月25日