

第1章 绪论

1.1 选题背景及研究意义

红枣具有极高的营养价值及药用价值，是集药、食、补三大功能为一体的保健食品，而我国鲜枣产品呈逐年上升的趋势，因此有必要对其进行自动化快速分级。我国是世界上红枣出口量和进口量第一的国家，种植历史十分悠久，多数省份都有红枣种植情况的存在，我国的红枣产量和种植面积均占据了世界的绝大部分，根据研究情况预测，近年来世界红枣的需求量与日俱增，有着极其广阔的产业发展前景。图 1-1 中为我国近年红枣产量，可以看到，红枣产量明显的产生了增长。目前，中国的枣树种植总面积可达 300 平方公里以上。近些年，中国的枣产量翻倍增长^[1]。但我国生产的水枣在国际市场的表现并不是很好，水枣品质的巨大差异是我国在国际市场的激烈竞争中处于被动地位的最重要的原因^[2]。而在西方国家的水枣品质处理中，农产品商品化之前的处理过程十分受到重视，在农产品进入到市场前对其进行清洗、分级等方法从而提高了农产品的价值，而我国的水农产品分级技术较落后，检测技术也发展的不尽人意，这使得我国农业产品外观品质较差，即使在同一批次的农产品中，品质也不尽相同，在市场中影响力不好，同时销量受到了极大的影响，降低经济效益。



图 1-1 我国近年红枣产量

Fig.1-1 Our country's red jujube produces in recent years

红枣分级的主要目的是使红枣商品标准化，既提高水果的附加值又提高了市场竞争力，红枣分级的另一方面是提高了整体品质，提高红枣整体批次质量和品质的提高^[3]。红枣分选机是用于对红枣进行处理的机器，红枣低位上料时，会出现有漏枣现象，为了提高上料装置的稳定性和可靠性，研究设计一种实用性强、操作简便、可靠性高、价格便宜的装置，用来提高上料过程的上料率。主要研究目标是设计一种红枣上料补给机构，实现红枣低位上料过程的自动补料，提高上料率，并与后续的分级执行机构协同作业。

该课题主要任务是设计红枣上料补给机构，使红枣上料过程连续，有助于红枣检测和分级设备的正常作业，促进红枣的品质分级和商品化，有助于提高社会的整体经济效益，符合现代社会主义社会的发展，同时本设计的研究结论对于其他类似的果实的分级和检测也有着一些借鉴的作用。

1.2 研究现状

晒干的红枣的根据一般根据其果实的大小、重量、果实表面的色泽，损伤等因素进行分级处理，目前，我国的分级技术分为四类：人工分级、机械分级、光电分级和基于机器视觉技术进行分级，第一种人工分级不仅容易受到施工人员主观因素的影响，还有着比较低的工作效率，第二种机械分级的主要原理是通过设计不同大小的机械孔结构对设备上的红枣进行红枣的大小分级处理^[4]。



图 1-2 现有的红枣分级机

Fig.1-2 Red jujube grading equipment

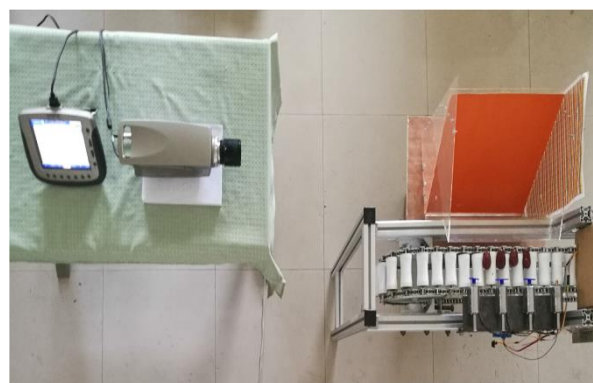


图 1-3 现有的红枣分级设备

Fig.1-3 Red jujube grading equipment

李湘萍等^[5]设计完成了一种红枣分级机。这种机器主要组成为：料斗、传动机构、栅条式滚筒机构、清筛机构。红枣在进入滚筒机构后由于其大小不同会根据筛选机构的特殊结构设计滚落下，该装置的体型较小，并且对红枣的表现划伤影响很小。是一种典型的机械式分级设备。N. Aleixos(2002 年)根据相机对橘子表面进行检测，根据得到的光谱进行分析从而检测到橘子的表面的质量，该装置的设计还可以对橘子和柠檬进行识别并分类^[6]。Ali Bulent（2007 年）通过一种将西瓜视为椭球形的算法对西瓜进行分级处理，是一种利用计算机进行分级的设备，工作效率很高^[7]。Beyer M.（2002 年）使用了图像和回归处理的计算方法通过确定对樱桃的长度和宽度的比值来对樱桃进行分级^[8]。

王松磊等^[9]通过图像处理技术在系统输出红枣的时候对红枣进行采集，该系统使用一种搓动旋转输出的方式。李忠新^[10]设计了一种机械式干果分级机，该装置采用滚筒式，内部布置有可以灵活调节的筛选装置，不仅可以对红枣进行分级还可以对其他小型果实进行分级，操作方便，结构简单可靠。通过查询研究数据，机械式的红枣分级

设备如滚筒式红枣分级机器的工作效率是人工分级的十倍以上，极大地提高了工作效率。贾吉明^[11]设计了一种红枣分级设备。该机器通过采取阶梯状断面对多个不同的筛选装置的呈重叠式的筛笼进行分级，并且筛选装置的筛条可以自由调节间隙，该装置有效地解决了红枣分级大小参差不齐的问题，但是和大多数红枣分级设备一样，只有对红枣大小的分级而缺少对外表颜色、表面缺陷等的分级。

张雪松等^[12]提出一种红枣分级技术，该技术以单片机为基础，在程序中预设红枣的一些基本数值，当需要检测的红枣通过与单片机相连接的传感器时，将检测得到的数据与预设的数据相比较，对红枣进行品质的判断。这种技术可以根据红枣的大小、长度等外形特点对红枣进行分级。冯斌等^[13]根据果实有着对称的形状特点提出了一种分级技术，该技术可对具有对称特种的果实进行分级，但实际情况后果实在自然环境下的生长不一定为对称的，所以这种技术有着很大的局限性。

1.3 目前存在的问题

根据研究现状的调查看来，红枣的分级主要为人工分级、机械分级和以依靠传感器为代表的光电式分级和少部分以机器视觉为基础的分级^[14]，由于社会各个行业发展的不均衡以及地域的差异，依靠人工方式对红枣进行筛选分级依旧占据了很大的一部分^[15]。人工分级工作效率低下，并且分级效果不理想，很大程度上还要受到工作人员的影响，卫生状况也不能保证，有着诸多缺点，随着社会主义现代化的发展，相信这种方法会逐渐淡出市场，被替换为更加先进的生产方式。机械分级可以消除掉人工分级的很多不便之处，解决掉诸多的缺点，是一种更为优秀的解决方式^[16]，但是机械式分级设备的体型巨大，一般来说只能对红枣进行大小上的分级，工作过程很容易划伤到红枣，因此，机械式分级只能用于简单的红枣分级，不适合用于红枣分级的产业化和普及^[17]。

近年来，图像处理技术的研究已经有很多科研人员从事，有着较成熟的技术，图像处理的检测精度很高，已有很多科研人员将其用于红枣分级的研究，有很多相关的分机设备和算法已经被设计出来，对红枣进行分级的实时性是其中极为重要的问题^[18]。在现有的一些科学研究中，分级过程的高效性：对快速运行的红枣分级设备做出信息采集并迅速做出处理和判断，是目前一大难点^[19]。提高我国红枣产品的成品处理技术是目前来说各个相关科研人员都希望可以得到解决的一个问题^[20]。

综上所述，我国在红枣分级方面的科学研究通过利用光电技术和计算机视觉技术取得了很多的科研成果，但是科学研究目前依旧停留在理论阶段，与实际生产还未能结合起来；另一点是现有的研究大多数为静态情况下的果实检测技术，而实际生产中一般来说都是动态的。

传感器技术的发展给科研提供了极大地便利，通过传感器可以检测到诸多需要的信息，如可见光图像等^[21]，传感器由于检测距离大，不需要和被测物体接触就可以进

行检测，因而有着极大的便利性^[22]。本设计将对以上两点做出设计，通过传感器的合理使用，对红枣分选机的上料装置部分进行完善，利用光电技术实现动态情况下的红枣检测并且搭建实物将其应用于实际情况。

1.4 研究方案

1.4.1 研究目标

为了提高上料机构的稳定性和可靠性，对上料装置有漏料的情况下实现补给红枣，本研究拟设计一种红枣上料补给机构，提高上料率，并与后续的分级执行机构协同作业。

1.4.2 研究内容

（1）漏料检测装置的设计：采用漫反射式传感器对红枣上料装置进行检测，当有漏料和无漏料时得到不同的信号并将该信号输入到控制系统。

（2）补给机构硬件部分的设计：硬件部分分为控制系统和执行机构，漫反射式传感器对控制系统部分输入信息后，由树莓派对该信息进行处理，当有漏料时发送指令接通继电器使控制系统输出，执行机构进行补料操作；当无漏料时使控制系统输出，执行机构进行等待操作。从而实现了对执行机构的准确控制。执行机构：执行机构安置于承载机构上，承载机构上设有存储装置，存储装置放置有红枣，当接收到来自控制系统的补料指令时，存储装置电磁铁推动红枣掉落通过送料装置进入上料装置末端，完成补料后存储装置电磁铁关闭；当接收到来自控制系统的等待指令时，存储装置电磁铁保持关闭状态直到下一次指令，从而实现红枣低位上料机构的自动补料。

（3）补给机构软件部分的设计：软件部分分为漏料检测程序和控制执行程序，在 Python 语言环境下，对从漏料检测装置得到的信号进行处理，得知是否漏料并读取该结果，程序控制部分采用 RPi.GPIO 库与硬件部分进行数据交换，通过置高电平或者低电平控制继电器，从而实现了对红枣上料机构是否漏料的准确判断和对控制系统发出指令。

（4）补给机构的性能测试：为验证方案设计的合理性，研制出了补给机构，根据实际红枣上料装置对补给机构进行了静态测试、高档位上料测试和低档位上料测试。测试结果表明：红枣上料补给机构可以满足红枣上料装置在有漏料情况下基本的补给需求，具有较好的补给性能。

1.4.3 研究方法

查阅相关文献，搜集有关的资料。初步了解红枣分选机的不同设计，通过参观已有的红枣分选机实物，对分选机的结构有进一步了解，设计补给机构的控制系统；绘制补给机构的三维效果展示和图纸，根据已有的分选机设计出补给机构并搭建，进行

补给机构程序的设计。

1.4.4 技术路线

根据上述研究内容，各个部分需要配合工作，并结合硬件部分进行软件部分的设计，制定的技术路线如图 1-4 所示。

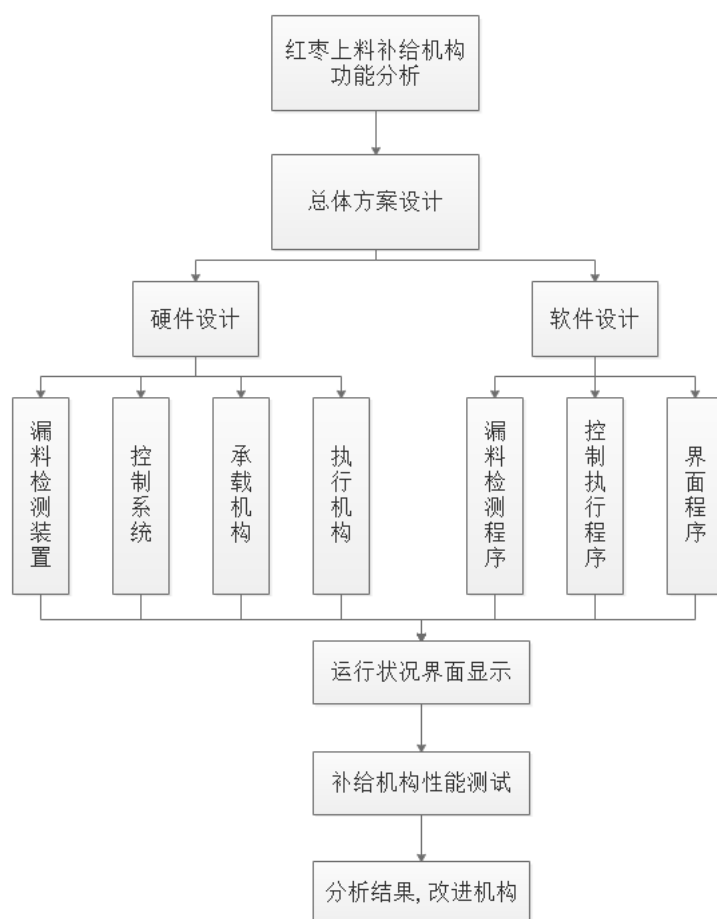


图 1-4 技术路线

Fig.1-4 Technical route

第2章 红枣上料补给机构总体方案设计

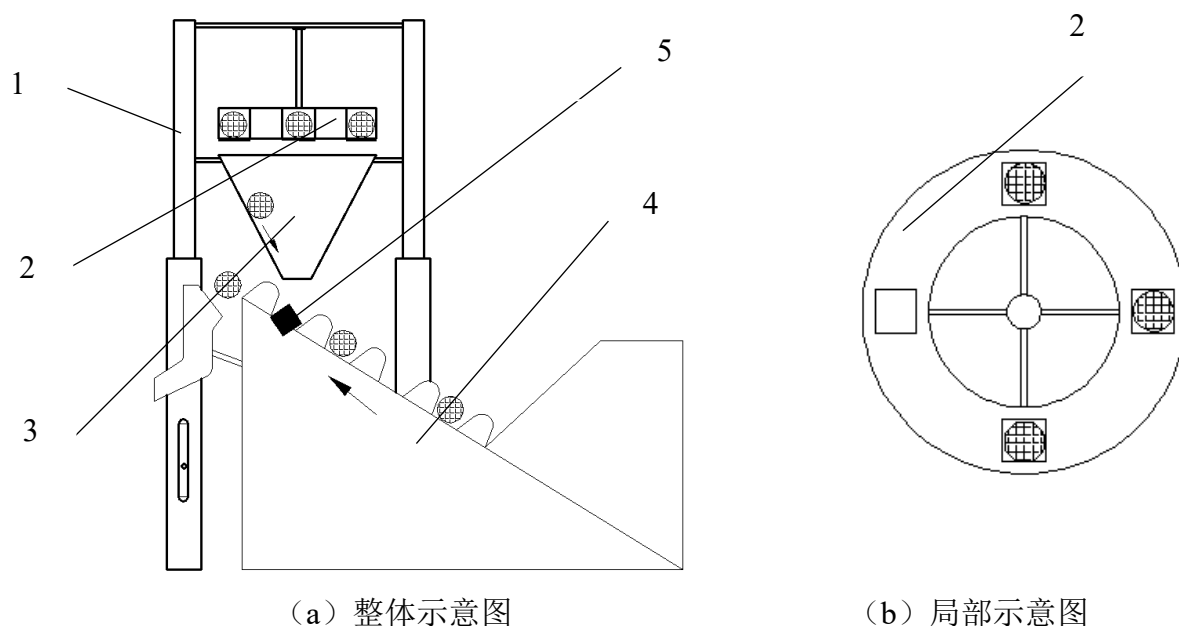
2.1 引言

对于红枣上料补给机构来说，需要能通过检测机构自动识别红枣上料过程中的情况，从而进行判断并进行补给，实现红枣上料过程的连续。补给机构的设计涉及机械结构、控制系统两大方面，设计完成后对该机构进行性能测试，本章将结合实际情况进行补给机构总体方案的设计。

2.2 补给机构初步方案设计

在补给机构开始设计之前，提出几种方案设计进行设计可行性的评估，经过筛选留下了两种较可行的方案进行比较，两种方案均以已有的红枣上料装置为基础架设在其上方。

方案一：



1 机架 2 补给执行机构 3 送料装置 4 红枣上料装置 5 漏料检测装置

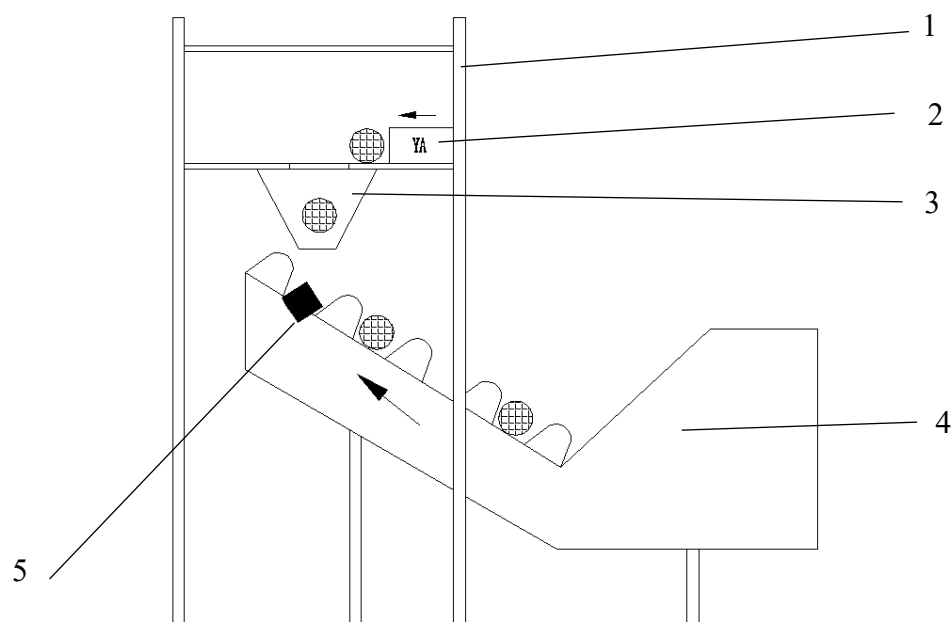
图 2-1 方案一设计示意图

Fig.2-1 The first Scheme design diagram

在本方案设计中，整体机构由1（机架）作为承载部分，2（补给执行机构）为一个圆盘，圆盘上有四个对称布置的通孔，孔底部设有阀门，四个工位用来放置四个红枣，当补给机构的5（漏料检测装置）检测到上料装置漏料，需要进行补料时，阀门打开，红枣从圆盘中落下，通过3（送料装置）进入4（红枣上料装置），该设计可以使得补给动作成功执行；2（补给执行机构）圆盘中的红枣即将被使用完成时，由控制系统检测并设计填料装置给圆盘中的红枣填料，2（补给执行机构）通过一根轴与电机相连接，填枣装置设计为一根送料管在圆盘工位上方，进行填料时红枣填入2（补给执行

机构)后,控制系统控制圆盘转动至下一个工位,送料管向下一个空置的工位填入红枣,以此实现补给机构的自动运行,该设计使得补给工作和维持补给工作的原料得以自动运行。

方案二:



1 机架 2 补给执行机构 3 送料装置 4 红枣上料装置 5 漏料检测装置

图 2-2 方案二设计示意图

Fig.2-2 The Second Scheme design diagram

在方案二中,整体机构搭载在1(机架)中,而2(补给执行机构)的设计为通过推拉式电磁铁工作,支撑平台采取一块长方形的平板,红枣放置于平板上方,平板中央开有一个圆形的通孔,当2(补给执行机构)工作时,由5(漏料检测装置)检测到漏料,控制系统反应控制推拉式电磁铁将前方的红枣推出,红枣通过中央的长方形孔掉落进入3(送料装置),最终进入4(红枣上料装置)完成补给;当2(补给执行机构)部分的红枣将要被使用完时,通过控制系统对该部分做出检测并一次性填充完所有红枣,该方案的设计成功实现了补给机构的自动补料,并且机构布置更加方便。

方案一与方案二进行比较,方案一的设计更加自动化,在方案一中补给机构的补给工作与维持补给工作的填料均可实现,而在方案二中,在补给机构的补给工作运行的同时,该机构的填料需要另外的填枣机器来对其工作,而不是与补给机构的设计连为一体。

方案一的补给执行机构与方案二的补给执行机构相比,圆盘的加工较复杂,而制造一块长方形支撑平台更加符合实际情况。同样,方案一中底部的阀门也难以购买,在市面上,方案二中的推拉式电磁铁存在广泛,故综合考虑,在本设计中最终选择了方案二进行红枣上料补给机构的设计

2.3 补给机构总体方案的设计

2.3.1 补给机构的设计要求

红枣上料时会出现有漏料现象，极大地影响了后续工作的稳定性与可靠性，补给机构的存在能提高上料过程的上料率，保障了红枣检测过程的连续性。作为红枣上料补给机构应具备以下功能：

（1）占地面积小。红枣上料装置与后续检测设备连接在一起，过大的补给机构会影响到工作人员的正常工作，要求补给机构平面范围尽可能占少的面积。

（2）判断准确，处理迅速。接收到指令后继电器的响应时间为 10ms，红枣上料装置运行时是一个动态的过程，这要求补给机构需要尽可能短的时间对漏料情况做出判断并执行补料。

（3）具有高度可调的功能。补给机构工作时可能面对不同的上料装置，红枣上料装置末端高度为 1.15m，而不同的上料装置高度不同，这就要求补给机构根据实际情况调节自身高度，最低位置至少在 1.2m 以上，过低会导致补料失败。

（4）重量合适。补给机构和上料装置调试时需要移动，设计时重量应在 15kg 以下，重量过大会造成工作人员的不方便。

为了完成上述要求，红枣上料补给机构的机械结构分为以下两个部分，包括：承载机构和执行机构。

根据上述要求和已有的上料装置的实际情况设计了红枣上料补给机构，分为补给机构的基本的技术参数和设计组成。

2.3.2 补给机构的技术参数

根据上文对红枣上料补给机构的具体作业要求分析，设计的红枣上料补给机构技术参数如表 2-1 所示

表 2-1 补给机构参数

Tab.2-1 Supply institutions parameter

结构参数	数值	技术参数	数值
尺寸长×宽×高	440×480	动力形式	电动
/mm×mm×mm	×1600		
净重量/KG	约 9.0		
支架间距/mm	440-480		

2.3.3 补给机构设计组成

红枣上料补给机构设计组成如图 2-3 所示.

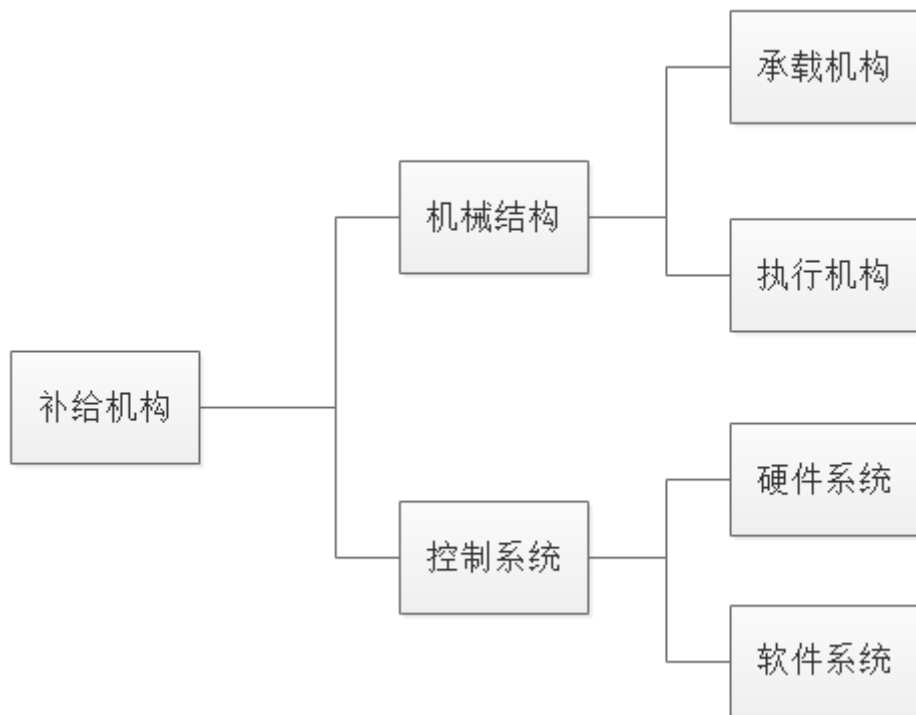


图 2-3 补给机构组成

Fig.2-3 Supply institutions constitute

补给机构的设计组成大致分为两个方面，分别是机械结构的设计、控制系统的设计，本此设计将围绕这两个方面开展设计工作并在设计完成后进行一些性能方面的测试用来验证本设计的合理性。

2.4 本章小结

本章设计了两种红枣上料补给机构的总体设计方案并做出合理选择，阐述了整体补给机构的组成部分，整体结构的设计以及技术参数，对本次设计的整体构造与设计步骤做出了规划，为后面几章的设计提供了基础。

第 3 章 红枣上料补给机构机械结构设计

3.1 引言

在补给机构的机械结构设计中，控制系统识别后做出判断将红枣推落，通过送料装置准确落入上料装置缺料的位置。要求补给机构提供控制系统安装位置和红枣存储位置并能将红枣准确送入上料装置相应位置。红枣上料补给机构机械结构的设计，该部分为整体补给机构最为基础的部分，机械结构承担起所有零部件的安置。在红枣上料补给机构中机械结构主要使用了工业铝型材和亚克力板进行组装搭建，合理的结构设计保证了树莓派、电磁铁等电子元件的存放，同时也降低了成本。

为节约制造成本，并综合考虑补给机构的作业要求，本章对补给机构的机械结构进行设计，并且加工完成补给机构实物。

3.2 承载机构的设计

3.2.1 承载机构的总体设计

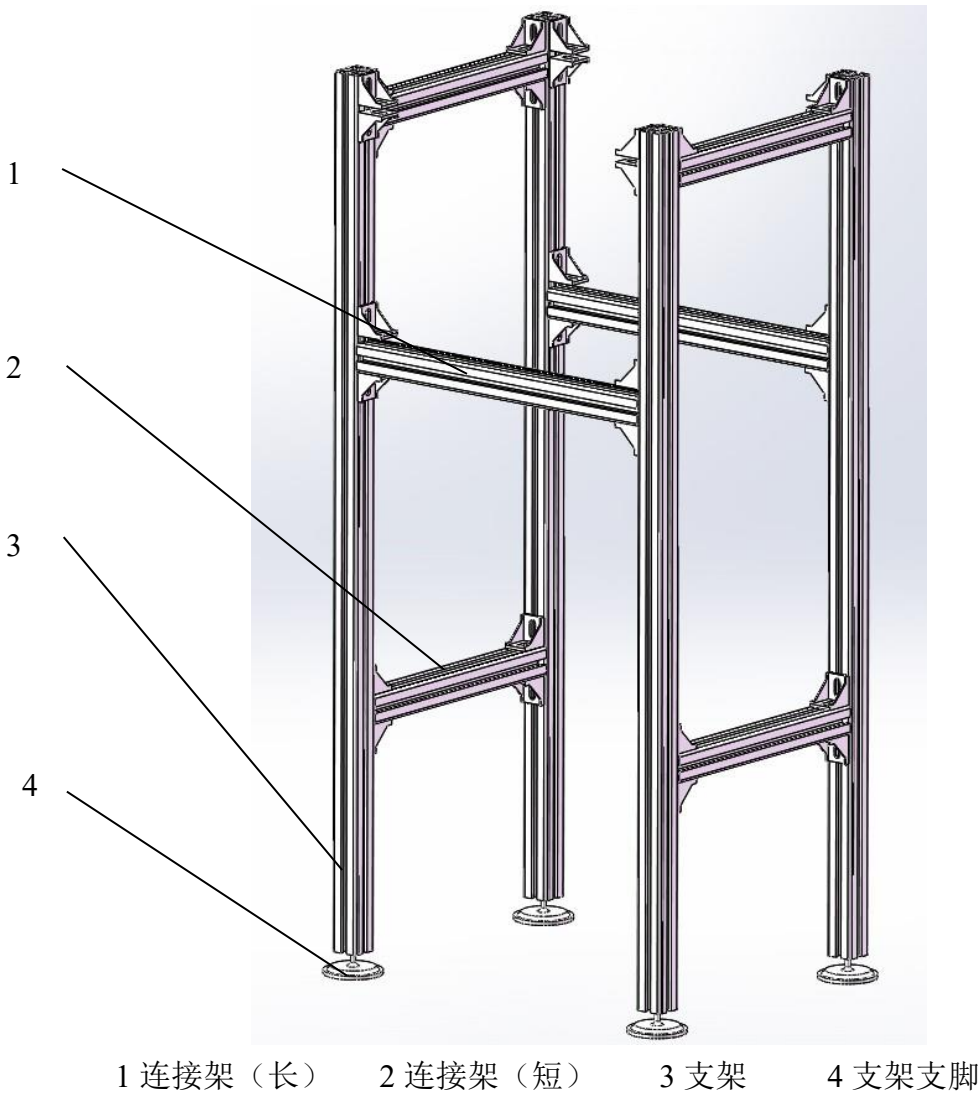
红枣上料补给机构的承载机构是搭载其他零部件的平台，机械承载机构的设计的合理关系到红枣上料补给机构的稳定运行，补给机构的机械结构的组成如图 3-1 所示。



图 3-1 补给机构的机械结构
Fig.3-1 Supply institutions mechanical part

3.2.2 框架结构的设计

红枣上料补给机构整体搭建在上料装置上方，其外部框架高于上料装置，必须预留出足够的高度，这样才能保障补给机构的正常工作，利用 SolidWorks 软件设计的补给机构的框架结构如图 3-2 所示。



1 连接架（长） 2 连接架（短） 3 支架 4 支架支脚

图 3-2 承载机构框架结构

Fig.3-2 Supporting mechanism frame

图 3-2 中的整体框架主要有支架、支架支脚、连接架（长）、连接架（短）和两个支撑平台搭建，其中图中搭建的零部件主要为铝型材，支架和连接架之间通过角件、螺栓和螺母连接，保证搭建完成后整体机构的稳定性和可靠性，选用的铝型材如表 3-1 所示。

表 3-1 铝型材参数

Tab.3-1 Aluminum profile frame

编号	1	2	3
长度/mm	480	360	1550
数目/个	2	4	4

使用与 4040 铝型材配套的铝角件连接框架之间，选用的铝角件如图 3-3 所示，T 型螺栓螺母型号为 QY40-M8×20，如图 3-4 所示，支架支脚由橡胶制作而成，保证了

整体机构的稳定性，如图 3-5 所示。



图 3-3 角件

Fig.3-3 corner fittings



图 3-4 螺栓与螺母

Fig.3-4 Bolt and nut



图 3-5 支架支脚

Fig.3-5 Support leg

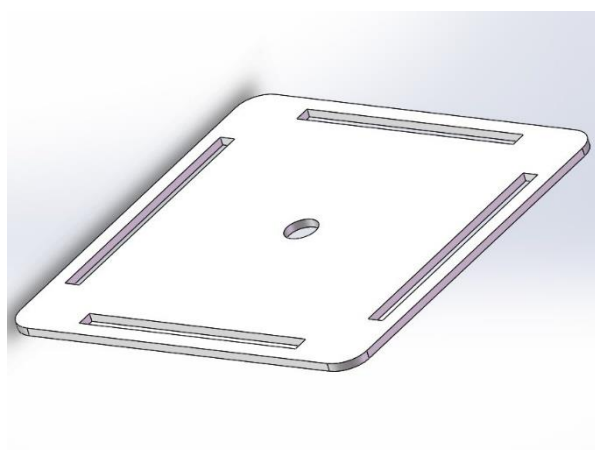
固定装置使用到的技术参数如表 3-2 所示。

表 3-2 固定装置技术参数

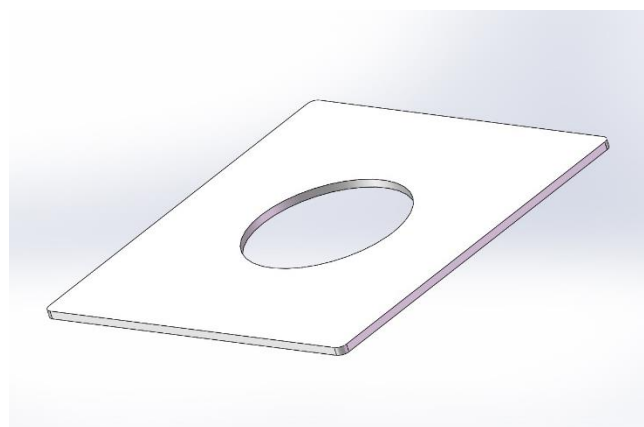
Tab.3-2 Fixed device parameter

名称	数量
角件	32
螺栓	52
螺母	56
支架支脚	4

3.2.3 支撑平台的设计



(a) 上支撑平台



(b) 下支撑平台

图 3-6 承载机构支撑平台

Fig.3-6 Supporting mechanism platform

两个支撑平台均由激光切割亚克力板制作而成，通过设计完成的图纸导入与机床相连接的计算机中，规划路径后进行切割，三维设计图如图 3-6 所示。亚克力板的材质具有很好的透光性，并且可以抵抗较大冲击力，抗冲击能力强的同时也有着较好的

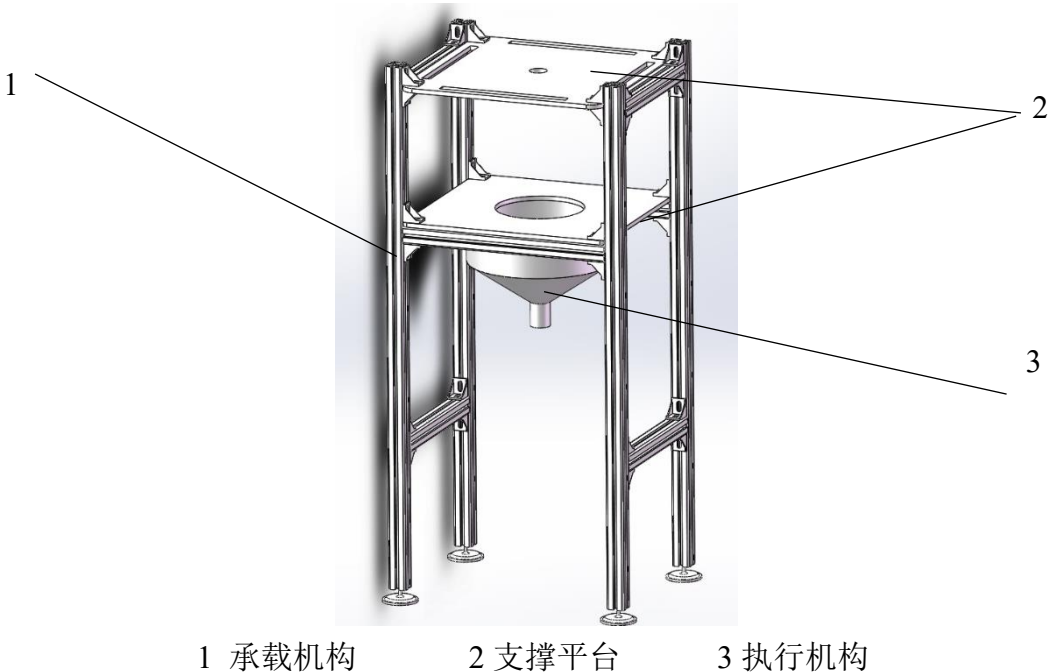
柔韧性，密度是 1.2g/cm^3 ，两个亚克力板的质量分别为：

$$m(\text{上支撑平台}) = 1200\text{kg/m}^3 \times 0.48\text{m} \times 0.48\text{m} \times 0.01\text{m} = 2.76\text{kg} \quad (3-1)$$

$$m(\text{下支撑平台}) = 1200\text{kg/m}^3 \times 0.48\text{m} \times 0.45\text{m} \times 0.01\text{m} = 2.59\text{kg} \quad (3-2)$$

3.2.3 承重部位的 ANSYS 有限元分析

补给机构整体采用铝型材搭建，其中补给机构的承载机构需要承受电磁铁、变压器和亚克力板等零件，需要对该机构的主要承重零件进行有限元分析以验证其设计的合理性。补给机构机械机构的整体外观结构视图如图 3-7。



1 承载机构 2 支撑平台 3 执行机构

图 3-7 补给机构外观结构

Fig.3-7 Supply institutions appearance

将绘制完成的 SolidWorks 三维造型导入 ANSYS 19.0 中进行有限元分析，分析步骤如图 3-8 所示：

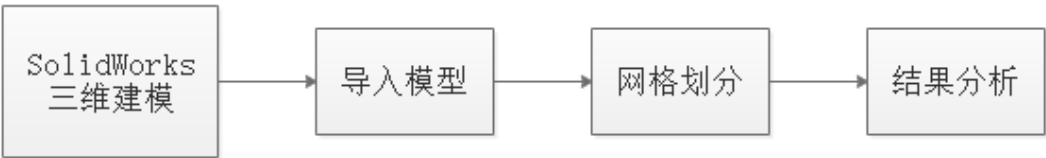
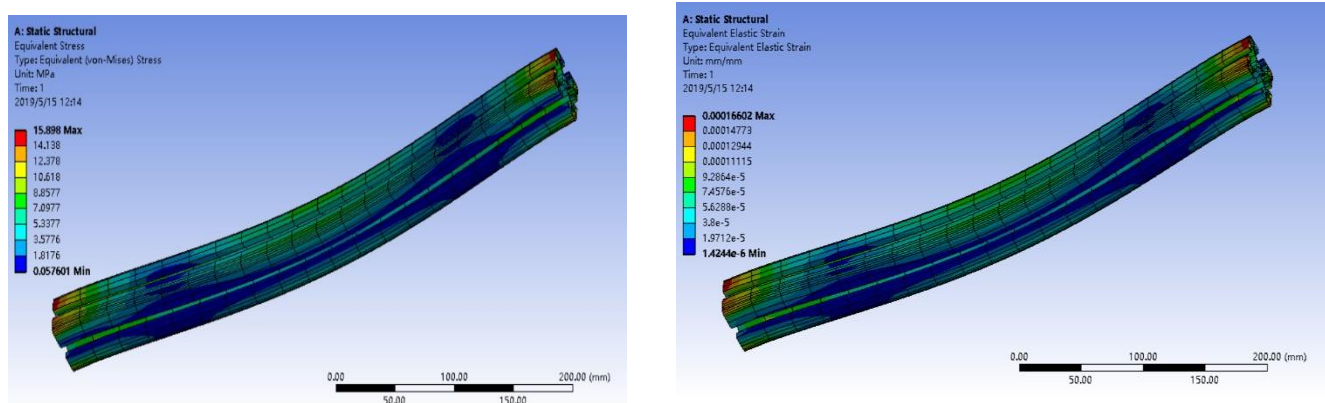


图 3-8 ANSYS 有限元分析步骤

Fig.3-8 Steps of finite element analysis

补给机构的承载机构的上支撑平台、下支撑平台和连接架（短）为主要的承重部

件，其中上支撑平台和下支撑平台的主要用来放置一些电子元件，因此受力很小，按 $0.1\text{Mpa}/\text{mm}^2$ 的力对其进行分析，实际设备的重量所产生的压强远小于此压强得到该框架承重件的应力分布云图和位移分布云图如图 3-9 所示



(a) 应力分布云图

(b) 应变分布云图

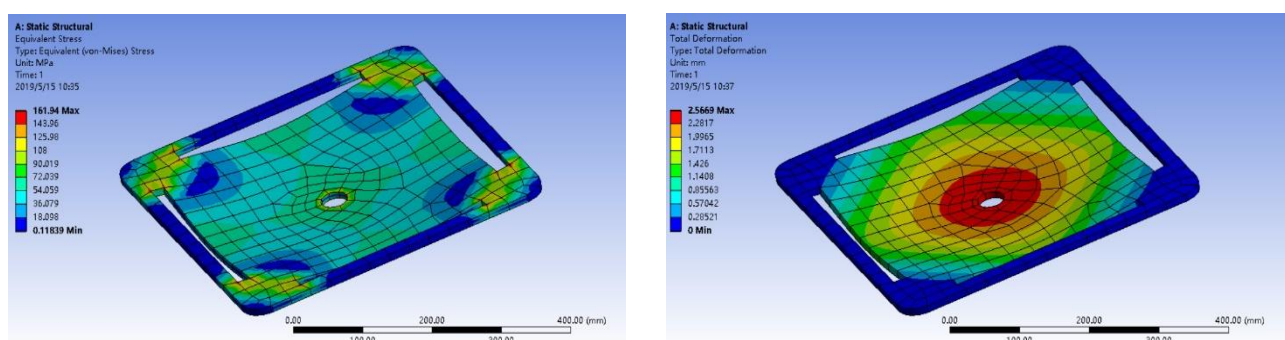
图 3-9 承载机构连接架应力与应变分布图

Fig.3-9 The stress and stress edges of link span

通过分析得到的应力与应变分布图可以得出结论：承载机构的连接架（短）所受的主要应力分布在连接架（短）的中间部位，最大应力为 15.895Mpa ，远低于材料的许用应力 $295\sim 335\text{Mpa}$ ；连接架（短）的最大瞬时变形位于中间部位，产生的变形较小，可以满足承载机构的受力要求。

(2) 支撑平台有限元分析

由于支撑平台存放的为一些电子元件，重量很轻，在这里取 0.1Mpa 的压强对支撑平台分析，电子元件的所产生的压强远小于此数值，得到上支撑平台的应力分布云图如图 3-10 所示



(a) 应力分布云图

(b) 应变分布云图

图 3-10 上支撑平台的应力与应变分布图

Fig.3-10 The stress and stress edges of upper support platform

通过分析得到的应力与应变分布图可以得出结论：承载机构的上支撑平台所受的主要应力分布在上支撑平台的中央圆孔部位，最大应力为 161.94Mpa ，较低于材料的许用应力 $295\sim 335\text{Mpa}$ ；上支撑平台的最大瞬时变形位于中央圆孔部位，产生的变形较

小，可以满足承载机构的受力要求。

(3) 下支撑平台有限元分析

得到下支撑平台的应力和应边分布云图如图 3-11 所示。

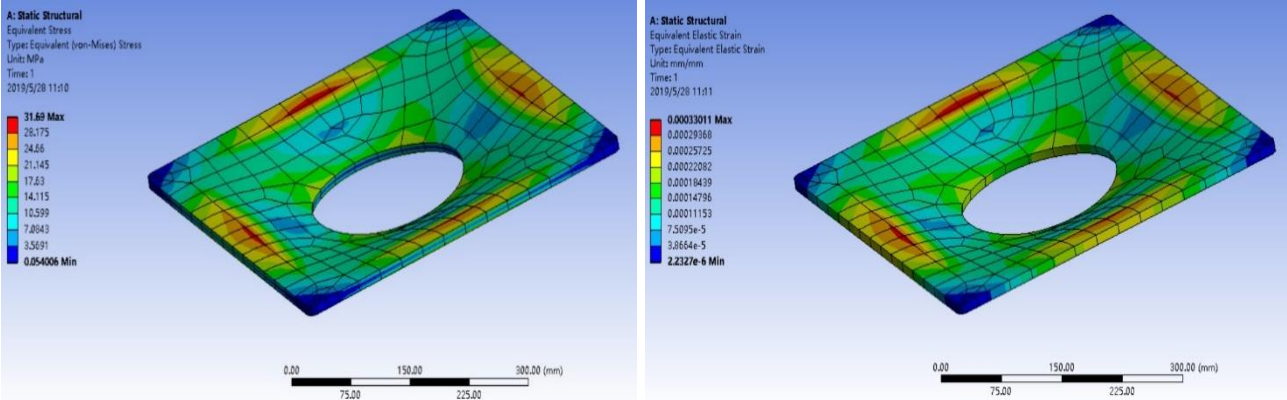


图 3-11 下支撑平台应力与应边分布云图

Fig.3-11 The stress and stress edges of lower platform

通过分析得到的应力与应边分布图可以得出结论：承载机构的下支撑平台所受到的主要应力分布于下支撑平台的四个边缘部位，最大应力为 31.69Mpa，远低于材料的许用应力 295~335Mpa；下支撑平台的最大瞬时变形位于中央圆形通孔的位置，产生的变形很小，可以满足补给机构放置电子元件的需求。

3.3 执行机构的设计

3.3.1 执行机构的总体设计

位置布置在下支撑平台，下支撑平台中心已经切割掉直径为 260mm 的圆形孔，可以使得红枣掉落不会卡住。当需要补料时，控制系统输出指令，推拉式电磁铁推动，红枣从下支撑平台掉落，通过送料装置进入红枣上料装置。

3.3.2 推拉式电磁铁的选择与安装

表 3-3 推拉式电磁铁技术参数

Tab.3-3 Push-pull electromagnet parameter

名称	型号	行程 mm	长宽/mm	吸力/N	电压/V	电流/A	功率/W
推拉式电磁铁	SDA-1253	15	89×93	42	DC12	2	24

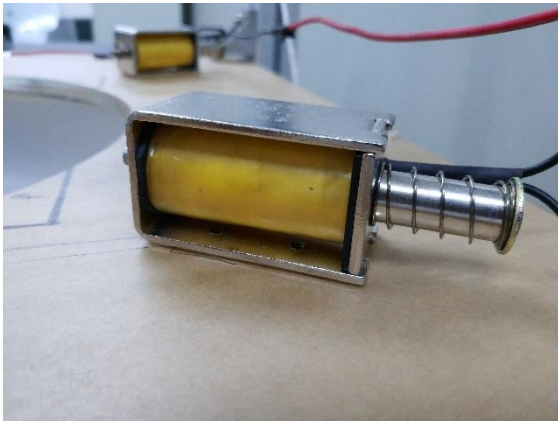


图 3-12 推拉式电磁铁

Fig.3-12 Push-pull electromagnet

推拉式电磁铁的工作原理：通电后铁芯推动红枣掉落，断电时在弹簧的作用下回归位置，弹簧强度比较软，只能使铁芯恢复位置而不影响整体，电磁铁可通过粘接或者螺钉固定在支撑平台上，本设计中的电磁铁通过冲击力进行工作，惯性冲击力较大而红枣又很轻，推拉式电磁铁设计选用为四个，分别固定在下支撑平台的四个红枣存储位的外侧。

3.3.3 变压器的选择与安装

变压器选用 220V 转 12V，固定在承载框架上，作用是给推拉式电磁铁提供合适的电源电压。具体参数如表 3-4 所示，实物如图 3-13 所示。

表 3-4 变压器参数

Tab.3-4 Voltage transformer parameter

名称	型号	输入电 压/V	输出电 压/V	输出电 流/A	额定功 率/W	尺寸 /mm	工作温 度	工作效 率
变压器	AS-60-12	110/220	12	0~5	60	111×78 ×36	-10° ~+60°	82%

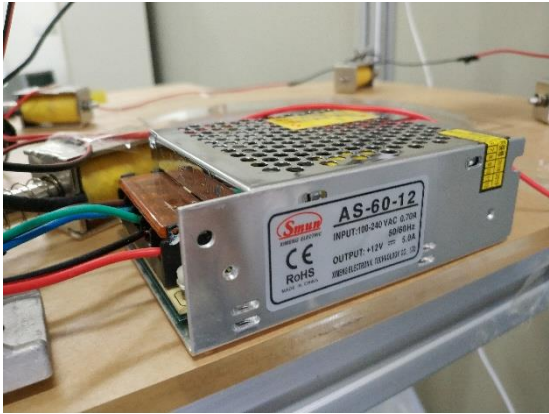


图 3-13 变压器

Fig.3-13 Voltage transformer

3.3.4 送料装置的选择与安装



图 3-14 送料装置

Fig.3-14 Supplying equipment

送料装置如图 3-14 所示，送料装置固定在下支撑平台下方，提前使用钻头钻两个孔，孔的直径大小比铁丝直径略大，约为 5mm。穿过铁丝或牢固的绳子固定在承载机构的框架上，保证下支撑平台的红枣通过送料装置进入红枣上料装置。

3.4 机械结构的联接

机械结构各零件之间的联接主要是通过螺纹连接固定角件来连接的，螺纹联接是利用螺纹零件构成的可用于拆卸的联接，在机械设计中应用极其广泛，螺纹联接不需要在用于连接的零件之间切割制造螺纹，螺栓和螺母的使用也不受到被联接件的材质的影响，不仅构造简单，而且装拆又十分方便。综合考虑，本设计的机械结构各零部件的联接设计使用螺纹联接。

本设计使用到的为 T 型螺栓和相配套的法兰螺母，螺栓的材料为 SUS304 中碳钢，中碳钢 T 型螺丝表面可镀锌或镀镍等，本设计选用的螺栓表面进行了镀镍处理，采用了红缎的工艺进行生产，生产完成后的螺栓经过热处理后的等级为 8.8 级，T 型螺栓与法兰螺母的组合安装广泛应用在工业中，在搭建之前要根据铝型材的槽宽选用 T 型螺栓的规格。

对螺栓和螺母需要进行拧紧处理，合适的拧紧措施可以增加联接的可靠性，保证补给机构机械结构整体平稳性，还可以使得螺栓的疲劳强度增大，而想要达到合适的拧紧条件，需要确定扳手拧的圈数（也可以是角度）来达到目的，本设计中使用到的拧紧方法均为通过扳手拧紧，由于物体之间的摩擦系数不是十分稳定，除此之外加在扳手上的力仅通过手部难以做出准确的控制，有时可能拧得太紧而造成螺栓被拧断。对于控制这一力度的方法较好的为规定拧的圈数或者角度，对于要求拧紧的螺栓联接需要认真控制螺栓联接中的拧紧力，在本设计中螺栓直径为 M8，使用扳手拧紧时约 1.5 圈可以完成拧紧固定。

在静载荷的情况下，螺纹联接基本上可以满足自锁条件。螺母和螺栓的大的一头的部位的承压面处有着较大摩擦力，同时也有着防松的作用。但是在冲击、振动等特殊情况下，类似的变载荷或变化较大的温度的影响会使得螺纹联接变化，发生松动，在本设计中机械结构仅作为承载，螺栓大部分受力均为静载荷，仅有电磁铁工作时产生力，该电磁铁的推力约为 30N，四个电磁铁对称放置，对整体机械结构产生的影响极其小可忽略不计。在本设计中从材料方面入手，在螺栓和螺母表面进行镀镍处理，一方面提高了螺栓连接的强度，另一方面也增强了螺栓的抗腐蚀性能。

3.5 补给机构的搭建

补给机构的搭建主要分为承载机构的零件的制造和联接，在补给机构的搭建中根据各个零件的设计进行切割和制造，再通过螺纹联接将各部分连接到一起成功搭建起整个补给机构的机械结构。

3.5.1 框架的加工制造

本设计中使用到的铝型材为工业铝型材，铝型材的制造原料是以铝锭合金为基础，在专业的挤压机的作用下经过高温进行挤压成型，一般通过电泳、阳极氧化银白或喷涂工艺进行期处理，国标的铝型材多为方形设计，本设计所选用铝型材为欧洲标准，外形均进行了圆角处理，与国标相比在使用上差异不是很大。铝型材通过阳极氧化银白工艺处理，选用的型号为 LJ-8-4040，按照图纸的设计需求切割成合适的尺寸进行搭建。

3.5.2 支撑平台的加工制造

支撑平台的加工制造采取通过激光切割亚克力板来进行制造，在切割之前将亚克力板放置在机床中的相应位置，检测机床没有故障后开始准备进行切割。

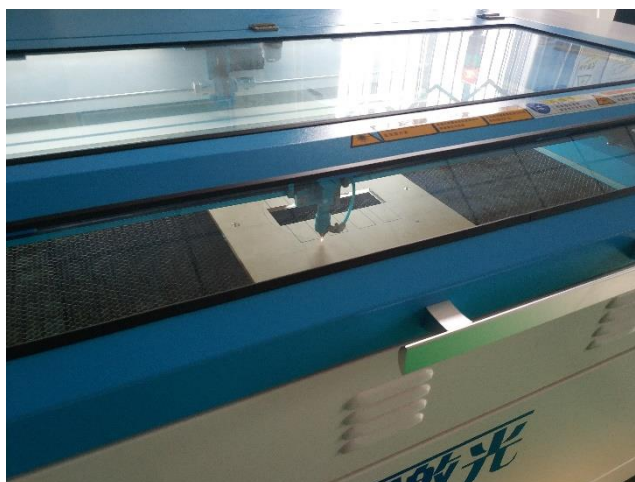


图 3-15 通过激光切割制造支撑平台

Fig.3-15 Manufacturing support platform with laser

将设计好的图纸保存成相应格式，通过可移动设备导入与切割机床连接的计算机，规划路径进行激光切割，加工过程如图 3-15 所示，该亚克力板厚度为 10mm，大小分别为 $10 \times 480 \times 480\text{mm}$ 和 $10 \times 480 \times 460\text{mm}$ 。在支撑平台上设计放置红枣，红枣位置在电磁铁正前方，推拉式电磁铁的行程为 15mm，当推拉式电磁铁启动时，红枣被推下。

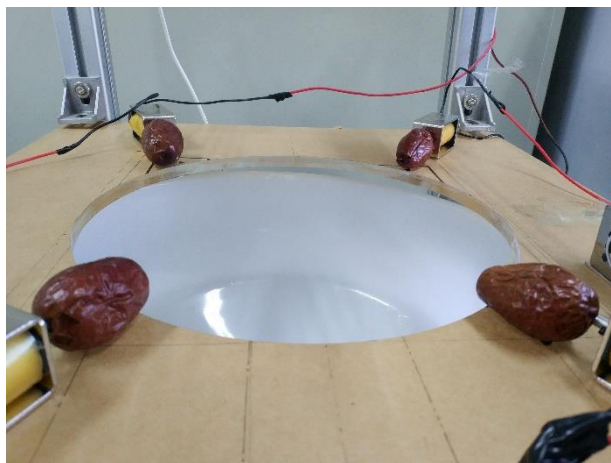


图 3-16 红枣存储位

Fig.3-16 Red jujube storage

在下支撑平台使用黑色签字笔绘制红枣存储位，使得每个红枣到中心距离相同，从而使得四个位置落下的红枣经过自由落体到达送料装置出口花费相同的时间，该时间在性能测试部分经过计算约为 0.38 秒。准备进行补料的红枣预先放置在该位置，根据调查市面上的红枣长度在 40mm~70mm 之间，宽度在 20mm~40mm 之间，红枣存储位的大小为 $40 \times 70\text{mm}$ ，位置如图 3-16 所示。

3.5.3 整体机构的搭建

补给机构机械结构的搭建用到了角件和螺栓螺母进行固定，支架支脚在底部作为支撑，型号已做出设计和选型，固定方法如图 3-17 所示。



图 3-17 通过螺栓螺母对补给机构进行搭建

Fig.3-17 Set up Supply institutions with bolts and nuts

搭建完成的红枣上料补给机构的机械结构如图 3-18 所示：



图 3-18 补给机构机械结构

Fig.3-18 Supply institutions mechanical system

3.6 本章小结

本章从承载机构、执行机构两个方面设计了补给机构的机械结构设计：

- (1) 承载机构的机械结构设计、材料选择；
- (2) 承重部件的有限元分析；
- (3) 对执行机构的推拉式电磁铁、变压器等完成了选型和连线；
- (4) 对承载机构的选材、加工方法和安装步骤完成设计。

补给机构机械结构作为整体的支撑，在本章已经过详细设计可满足补给机构的承载需求，也可以根据控制系统的指令准确地进行补料。

第4章 红枣上料补给机构控制系统设计

4.1 引言

在补给机构中，控制系统是补给机构正常运行的核心，控制系统通过传感器检测漏料情况，通过控制继电器来控制推拉式电磁铁进行补料，即检测传感器的电平以及向继电器输入电平。补给机构控制系统的设计分为硬件搭建和软件设计，硬件部分涉及到所有电子元件的选型、连线与搭建，软件部分涉及到漏料检测、控制执行以及程序的界面设计，本章将对控制系统做出详细设计。

4.2 控制器的选择与确定

在设计一个控制系统之前，首先要解决的问题是确定一个合适的控制器，不同的控制器决定了不同的成本，同时对于设计者也有着不同的难度，补给机构工作的准确程度由控制器确定。根据红枣上料补给机构的实际情况，同时综合成本与设计者个人因素，选择了树莓派作为补给机构的核心控制器，树莓派主板的主要模块如图 4-1 所示。

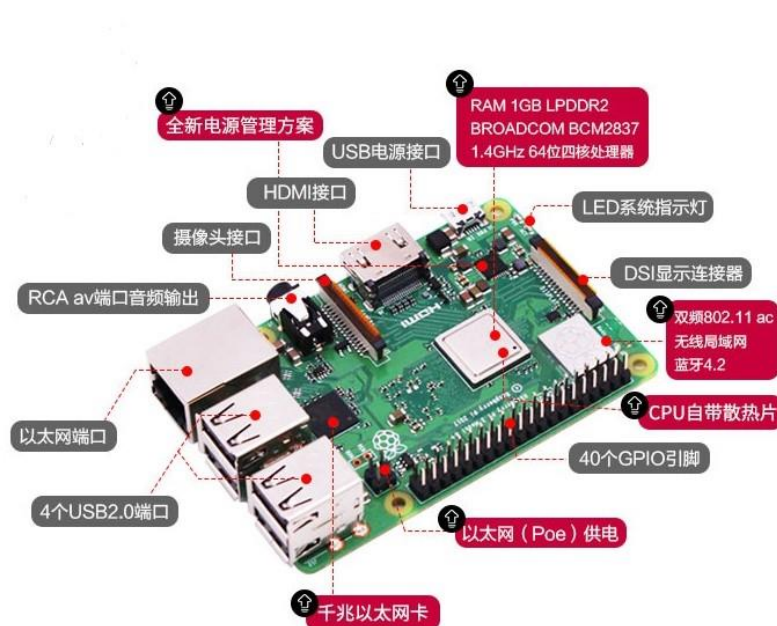


图 4-1 控制器树莓派

Fig.4-1 Controller Raspberry Pi

树莓派是一款以 ARM 为基础制造的微型电脑，树莓派使用 SD 卡作为内存和硬盘。与类似的其他开发板相比较而言，树莓派拥有较全面的用于外接各种设备的接口，比如常用的 USB-host、HDMI、SD 接口都十分适用于做一些简单的控制。而其他开发板的接口相对比较单一，与其他设备如继电器、电磁铁相连接时需要增加接口板。

树莓派的系统为 Raspberry 系统，是基于 Linux 内核设计的，很多主流的编程语言在树莓派的系统中都具有强大的兼容性，在各种编程语言中，Python 语言以简洁、开源等特点在近年来热度逐渐升高。在本设计中，根据补给机构控制系统的工作环境，同时也考虑到设计者的个人因素，选择 Python 语言作为树莓派的编程语言。

4.3 补给机构控制系统设计

补给机构控制系统设计分为硬件搭建和软件设计，硬件搭建原理如图 4-2 所示，支撑平台上安置有电磁铁，当接收到来自控制系统的补料指令时，推拉式电磁铁推动红枣掉落进入上料装置末端，完成补料后推拉式电磁铁收回；当接收到来自控制系统的等待指令时，推拉式电磁铁保持关闭状态直到下一次指令，从而实现红枣低位上料装置的自动补给。

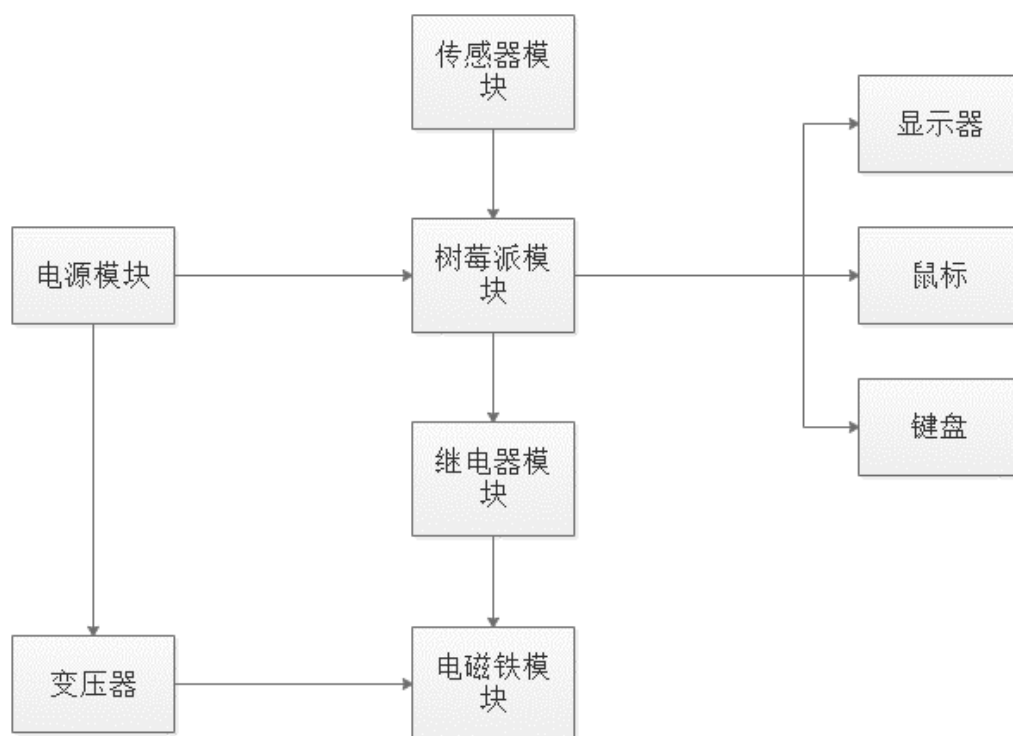


图 4-2 控制系统硬件连接原理

Fig.4-2 Hardware system schematic diagram

漏料检测模块对控制系统输入信息后，由树莓派对该信息进行处理，当有漏料时发送指令接通继电器使控制系统输出高电平，执行机构进行补料操作；当无漏料时使控制系统输出低电平，继电器保持关闭，执行机构进行等待直到下一次指令。补给机构控制系统流程图如图 4-3 所示

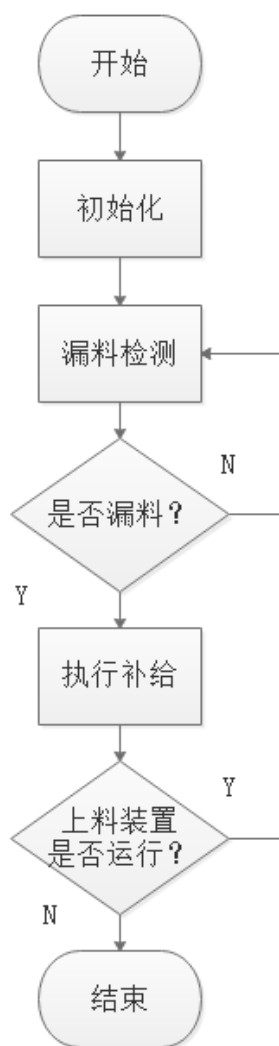


图 4-3 补给机构控制流程图

Fig.4-3 Supply institutions control system flow diagram

4.4 硬件的选型与连接

4.4.1 漏料检测模块

漏料检测装置使用漫反射式光电传感器，该传感器的型号如表 4-1

表 4-1 传感器参数

Tab.4-1 Transducer parameter

名称	型号	输入电压/V	负载电流 /mA	感应距离 /cm	传感器直径 /mm	传感器长度 /mm
光感式传感器	E18-D80NK	DC 5	100	80	18	45

该传感器为 NPN 常开，根据型号可知为漫反射式红外式光电传感器，根据上料装置调整感应距离，实际距离为 13cm 测试可正常工作,传感器安装如图 4-4。

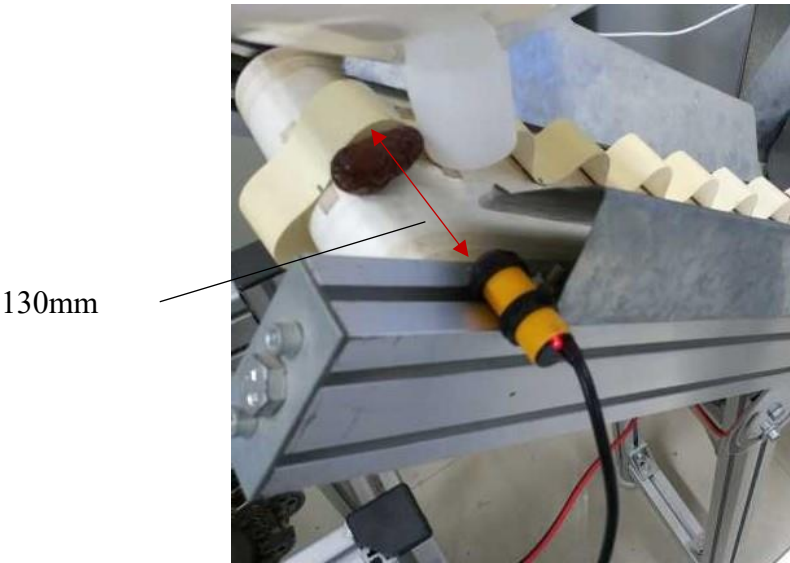


图 4-4 传感器安装图

Fig.4-4 Sensor installation

4.4.2 树莓派控制模块

树莓派主要参数如表 4-2

表 4-2 树莓派参数

Tab.4-2 Raspberry Pi paramant

CPU	互联网	内存	主要接口
1.4GHz 四核 BroadcomBCM2837B0 64 位 ARM A53 处理器	千兆以太网，板载 802.11b/g/ac, 2.4/5G 双频 WIFI 和低功耗蓝牙 4.2 (BLE)	1GB RAM	4 个 USB2.0 端口、40 引脚扩展 GPIO、4 路立体声输出和复合视频端口、CSI 照相机端口、DSI 显示端口、TF 卡端口、双排 POE 端口

树莓派作为整个控制系统的核心不仅接受传感器的检测信号，还对继电器进行控

制，树莓派引脚连接如图 4-5 所示，所选用的继电器主要参数如表 4-3。

表 4-3 继电器参数

Tab.4-3 Relay parameter

名称	工作电压/V	静态电流/mA	限大电流/mA	触发电压/V	模块尺寸/mm
继电器	DC 5	5	190	0-1.5 (低) 4-5 (高)	141.5×50

继电器模块为 NPN 型，设置为高电平触发，如图 4-6，显示模块使用一块 3.5 寸 HDMI 接口的显示屏，如图 4-7 所示，

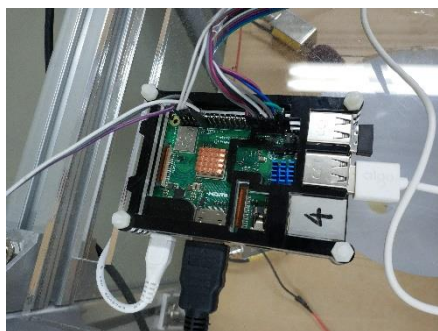


图 4-5 树莓派实物连线
Fig.4-5 Raspberry ligature

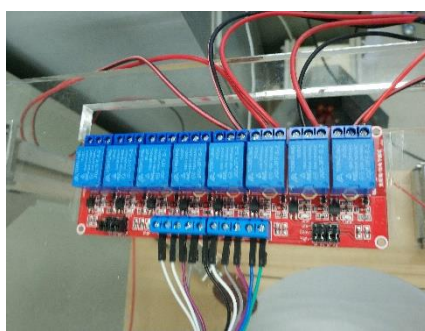


图 4-6 继电器连线
Fig.4-6 Relay interconnect



图 4-7 树莓派显示器
Fig.4-7 Raspberry Pi displayer

4.4.3 硬件连接图

连接完成的硬件的电子元件包括传感器、树莓派、继电器、显示器、变压器、推拉式电磁铁、鼠标、键盘，连接线路如图 4-8 所示

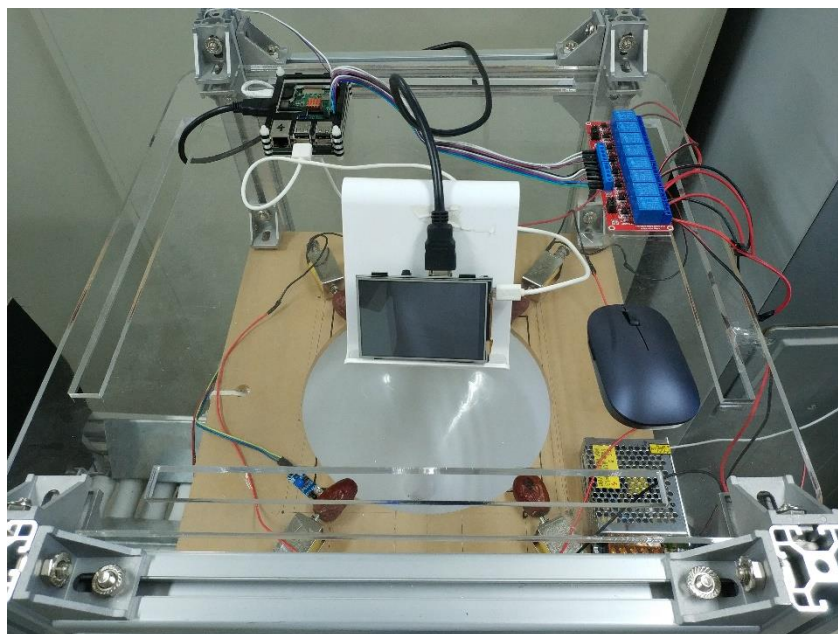


图 4-8 硬件连接图
Fig.4-8 Hardware interconnect

4.5 操作系统的安装与配置

4.5.1 操作系统的安装

操作系统选用树莓派官方系统 Raspberry 系统，通过互联网可以下载到 Raspberry 镜像系统，将空的 SD 卡通过读卡器连接到电脑，通过 SDFormatter 软件对 SD 卡格式化，使用 Win32DiskImager 将下载好的 Raspberry 系统写入到 SD 卡，成功写入系统后插在树莓派上就可以使用了。成功后打开树莓派如图 4-9 所示。

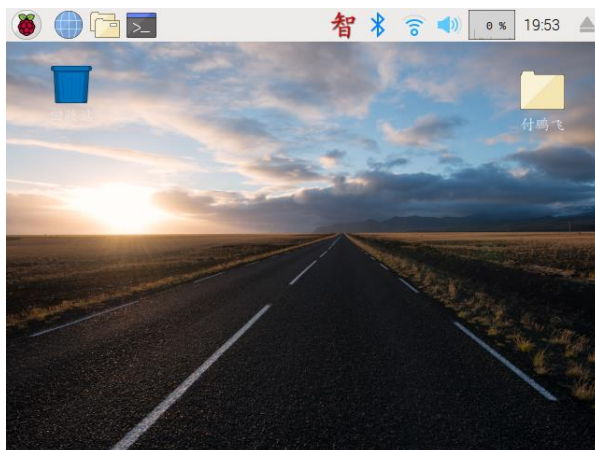


图 4-9 树莓派桌面

Fig.4-9 Raspberry Pi desktop

4.5.2 程序运行环境的配置

程序运行时需要用到相对应的第三方库，打开 LX 终端，输入 `sudo apt-get install python3-PyQt5`，成功安装运行界面所需要的 PyQt5；输入 `sudo apt-get install RPi.GPIO` 成功安装控制引脚电平的 RPi.GPIO 库，在 LX 终端输入 `pip list` 可查询树莓派已安装库。配置成功查询已安装库如图 4-10 所示。

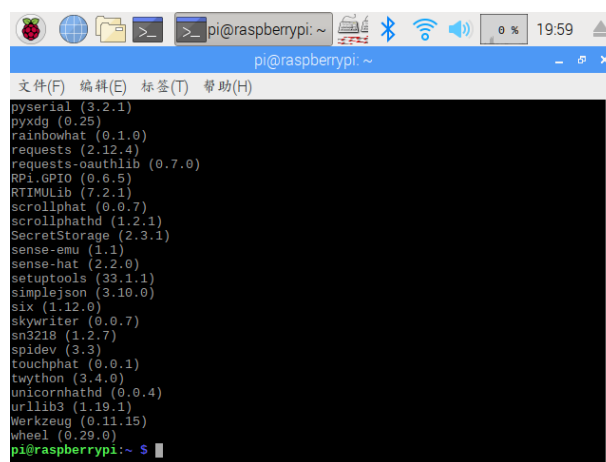


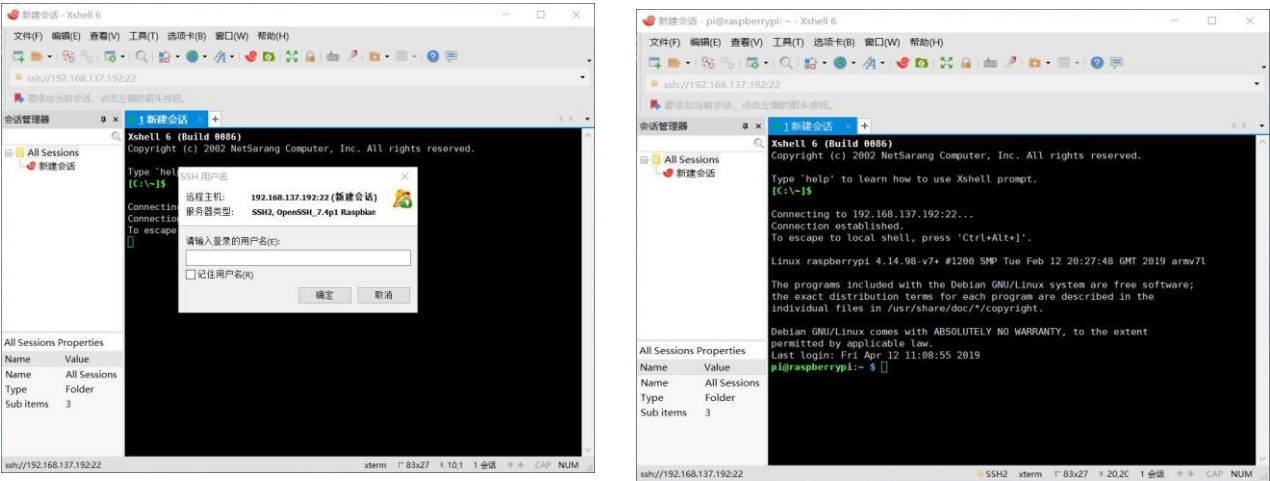
图 4-10 已成功安装的库

Fig.4-10 Installed libraries

4.5.3 通过 Xshell 与 VNC 建立远程控制网络

在阅读相关参考文献中，大多数研究人员使用 Putty 软件完成了对树莓派终端了连接，Putty 的界面未汉化并且每次运行都需重新输入物理地址，作者在此介绍另一种方法，通过 Xshell 连接到树莓派终端，达到了相同的效果并且该软件的优化更加完善。两种方法均为通过 SSH 服务对树莓派进行连接。

树莓派通过一根网线与 PC 端连接，树莓派通过预先设置提前打开 SSH 服务，完成后启动 PC 端的 Xshell 6 软件，输入树莓派的物理地址，点击确定即可进入 Xshell 的操作界面，登录界面如图 4-11 所示



(a) 连接 Xshell 连接树莓派 (b) 成功连接到树莓派 LX 终端

图 4-11 通过 SSH 服务建立远程连接

Fig.4-11 Establish a remote connection with the help of SSH serve

树莓派默认用户名为 pi，密码为 raspberry，输入之后便成功连接到树莓派 LX 终端，在此时树莓派的图形界面还未成功显示，通过 VNC Viewer 可以将树莓派桌面图像实现显示。在树莓派终端输入 `sudo apt-get install tightvncserver` 安装成功后输入 `vncserver` 得到分配的地址，输入到物理地址后面便可以在 PC 端登录，登录界面如图 4-12 所示

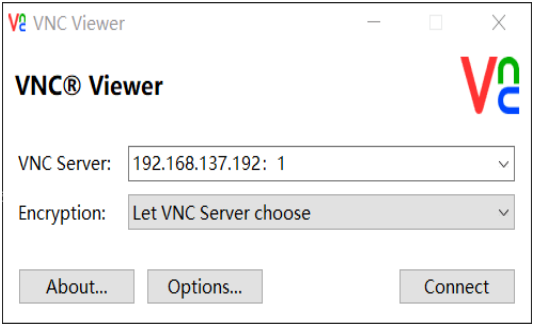


图 4-12 通过 VNC Viewer 进行连接

Fig.4-12 Connect with the help of VNC Viewer

最终成功完成 PC 端对树莓派的远程连接，如图 4-13 所示



图 4-13 通过 VNC Viewer 成功连接到树莓派桌面

Fig.4-13 Connect to desktop with the help of VNC Viewer

4.6 红枣上料补给机构的软件程序设计

补给机构的正常工作离不开程序的控制，在本文前几章已经搭建好了所需的硬件环境，本章将详细介绍补给机构的程序的编写。对于本文的红枣上料补给机构，其要求是当漏料检测装置检测到上料装置漏料时，控制器迅速做出判断并控制执行机构进行补料操作。

4.6.1 软件开发工具

本文软件开发工具使用的是 Python IDLE 工具和 Sublime Text，Python IDLE 是 Python 3.5 自带的文本编辑器，Sublime Text 是一个跨平台的编辑器，本设计需在 Windows 系统中编写程序，在树莓派的 Linux 系统中调试程序，故选择该软件开发工具与 Python IDLE 协同使用。在 PC 端的 Windows 系统中不支持相关程序的运行，程序开发完成后的测试使用可移动设备拷贝到树莓派系统中进行测试

4.6.2 漏料检测程序的设计

软件的程序设计主要使用到了 While 无限循环结构和 if-elif-else 判断语句，程序的流程图如下图 4-14 和 4-15 所示。

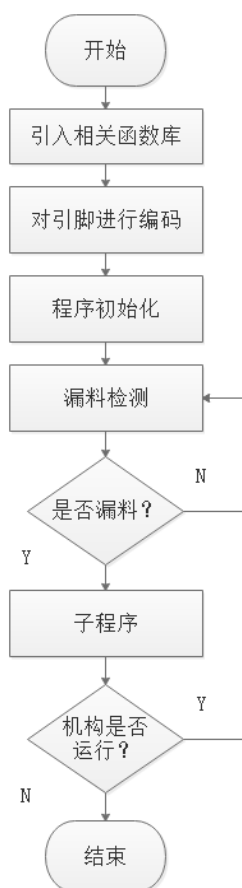


图 4-14 主程序流程图

Fig.4-15 Main program flow diagram

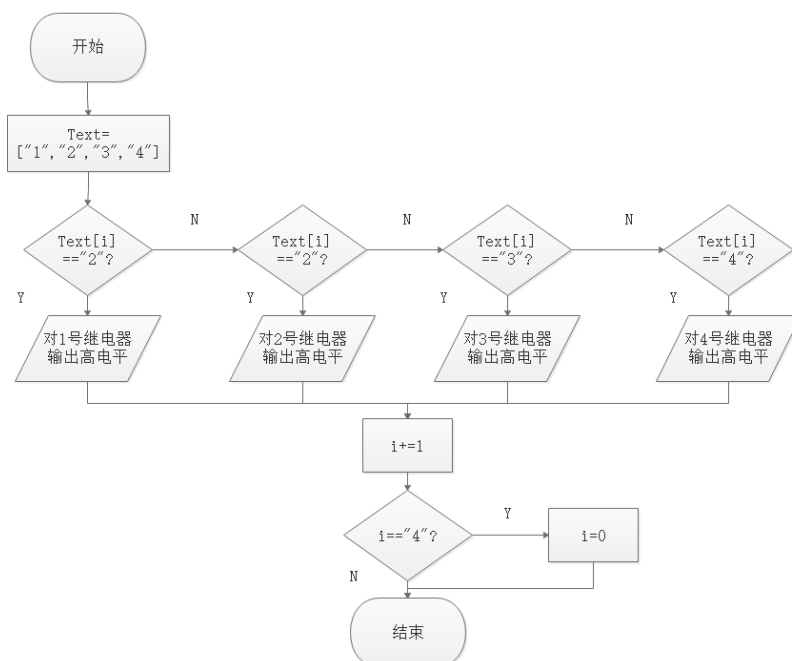


图 4-15 子程序流程图

Fig.4-15 Sub-program flow diagram

程序通过读取传感器电平来判断上料机构是否发生漏料，传感器经过调试，感应距离恰好在上料装置的 PVC 带之间，如果 PVC 带的凹槽中有红枣，红枣会阻挡住传感器的信号，此时感应为低电平，如果 PVC 带的凹槽中缺少红枣，传感器为高电平，程序通过判断与传感器引脚相连接的树莓派的引脚来判断是否发生漏料，具体程序如下：

```

import RPi.GPIO as GPIO
import time
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.cleanup()
GPIO_IN=17 #传感器连接 17 号引脚

def init():
    GPIO.setmode(GPIO.BCM)
def run():

```



```

while True:
    inValue=GPIO.input(GPIO_IN)

    if inValue!=0:
        print("检测到漏料")
        time.sleep(2) #程序休眠 2 秒
    else:
        print ("无漏料")
        time.sleep(2)#程序休眠 2 秒

init()
run()
GPIO.cleanup()

```

在程序中每次检测到为 PVC 带之间的凹槽，上料装置为匀速运动的，两个 PVC 带凹槽通过的时间即设置为程序每次检测后的休眠时间，语句为 `time.sleep()`，本程序根据实际上料装置的运行速度设置时间为 2 秒，即传感器每隔两秒对上料装置进行一次检测，并且要求第一次检测时传感器恰好检测在在 PVC 带的凹槽之间。

4.6.3 控制执行程序的设计

得到上料装置的漏料信息后便要求准确发出补给指令，发出补给指令的核心代码如下：

```

当需要执行一次补料操作时：
print("执行补给")
GPIO.output(Relay_Ch1,GPIO.HIGH)
time.sleep(1)
GPIO.output(Relay_Ch1,GPIO.LOW)
time.sleep(1)
当无漏料，不需要执行操作时：
Print("执行等待")
GPIO.output(Relay_Ch1,GPIO.LOW)
time.sleep(2)

```

4.6.4 基于不同上料档位的程序设计

在本文中，需要控制的电磁铁为多个，由控制一个电磁铁到控制多个电磁铁需要在 `if-else` 语句中嵌套进去 `if-elif-else` 结构，最终使得几个个推拉式电磁铁在需要补给时

循环执行补料操作，具体结构如下：

```
i=0
text=[ "1", "2", "3", "4", "5" "6" "7" "8" ]
    if text[ i ] == "1":
    elif text[ i ] == "2":
    elif text[ i ] == "3":
    elif text[ i ] == "4":
    elif text[ i ] == "5":
    elif text[ i ] == "6":
    elif text[ i ] == "7":
    else:

    i += 1
    if i == 8:
        i = 0
```

源程序即将以上几部分程序与界面程序根据实际情况做出调整结合在一起，即可实现红枣上料补给机构的准确控制，在后续实验中已成功完成。

4.7 基于 PyQt5 的软件界面设计

在第4章已经完成了程序的编写，程序可正常运行，但是对于非开发人员的使用并不友好，一个程序通过界面向读者展示可以获得更好的操作体验，本章通过 PyQt5 制作了补给机构软件的界面，同时也介绍了如果将软件打包制作作为一个 Windows 可执行程序，以方便相关科研人员进一步的研究。

显示界面为补给机构运行中可以直观看到补给结果，显示界面使用 QtDesigner 制作，制作好的界面为.ui 文件，使用指令将.ui 文件转化为.py 文件，制作成功后的界面如图 4-16 所示



图 4-16 基于 PyQt5 的显示界面

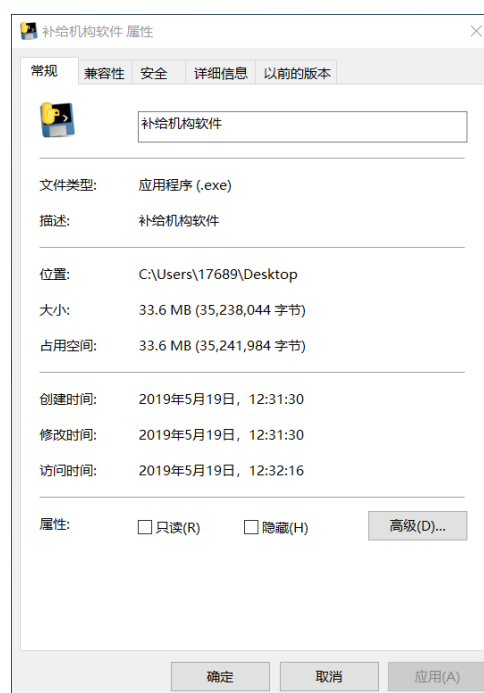


图 4-17 可执行程序属性

Fig.4-16 PyQt5-based interface

Fig.4-17 The making of executable programs

执行此界面需要通过一段代码，该部分代码需要布置在主程序中通过主程序的运行来启动此界面。

4.8 基于 PyInstaller 的 Windows 可执行程序设计

PyInstaller 为 Python 的一个第三方库，是一个程序，可以在 Windows，Linux，Mac OS X，AIX 和 Solaris 下将（Python）程序转换（打包）成独立的可执行文件。与类似工具相比，它的主要优点是 PyInstaller 可以与 2.3 版本的 Python 一起使用，它通过透明压缩构建较小的可执行文件，它是完全多平台的，并且使用 OS 支持来加载动态库，从而确保完全兼容。

将开发完成的代码存放路径复制，打开 Windows 的命令提示符，输入 `pip install PyInstaller` 安装 PyInstaller 第三方库，安装成功后在命令提示符输入 `PyInstaller -F “代码存放路径”`，即完成了 Windows 可执行程序的制作。制作完成后如图 4-17 所示。

4.9 本章小结

本章根据补给机构补料过程的需求，控制系统的硬件部分完成了以下工作：

- （1）补给机构控制系统与编程语言的选择；
- （2）详解说明了所有电子元件的选型、安装位置与连接方式，
- （3）操作系统与程序运行环境的配置。
- （4）连接到 PC 端实现对补料过程的远程控制

以及控制系统的软件部分完成了：

(1) 软件控制程序的设计

(2) 软件的界面设计

(3) 可执行程序的制作

本章设计完成了补给机构的控制系统，根据补给机构运行的需要，控制系统的硬件部分和软件部分配合补给机构的运行，可实现漏料情况下的准确的漏料检测与补给。

第5章 红枣上料补给机构性能测试

5.1 引言

红枣上料装置上料过程为动态过程，补给机构在运行时需要对不停运行的红枣上料装置进行补料，这要求设计搭建好的补给机构需要与上料装置相协调，包括红枣上料装置静止状态下的测试，启动后不同档位下的测试，根据测试结果对补给机构做出改进。

5.2 红枣上料补给机构性能测试

5.2.1 实验材料

预先准备好红枣上料补给机构、红枣上料装置、红枣若干以及电源，将红枣上料补给机构架设在红枣上料装置上方，准备好的红枣一部分放入红枣上料装置中，另一部分放置于红枣上料补给机构的下支撑平台上的相应位置上。

5.2.2 补给机构运行测试

启动红枣上料补给机构，设计完成后的红枣上料补给机构如图 5-1 所示。

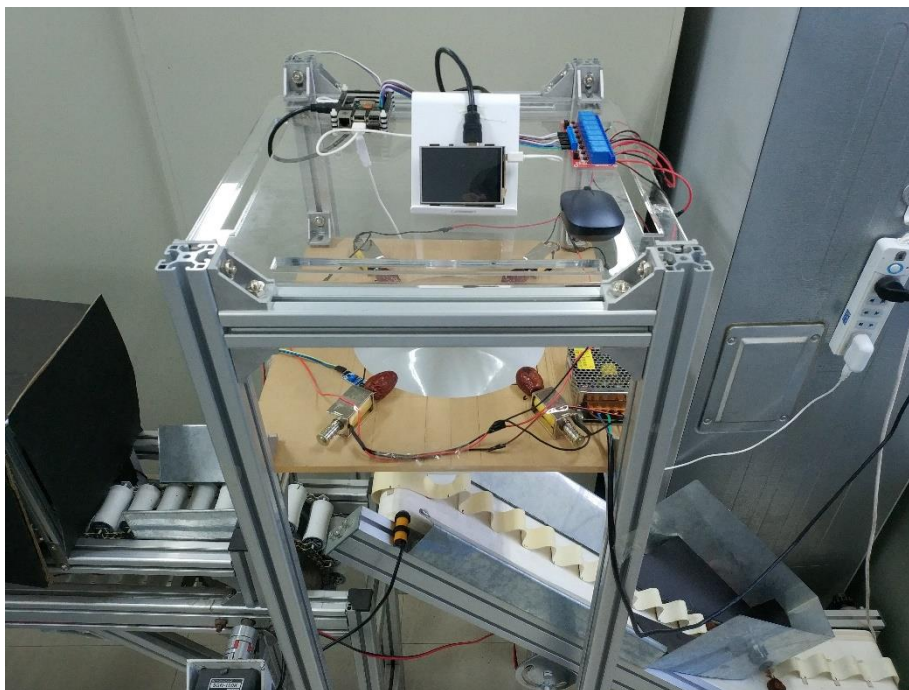


图 5-1 搭建完成的红枣上料补给机构

Fig.5-1 The completed of the Red jujube supply equipment

首先进行补给机构的运行测试，启动红枣上料补给机构，在未启动红枣上料装置的情况下，通过手动模拟阻拦和空置传感器前方相应位置，当传感器前方无阻碍物时，继电器指示灯闪烁，推拉式电磁铁可按预期推动红枣掉落进入上料装置完成补给，软件界面提示电磁铁补给；当传感器前方被阻拦时，继电器指示灯不发生变化。

关闭补给机构电源，

静态情况下的测试表示设计完成的补给机构可以正常运行，表明可继续进行下一步的实验。

5.2.3 高档位情况下的补给测试

启动红枣上料装置，首先启动高上料速度的档位，等待上料装置运行稳定后启动补给机构并运行补给机构程序，在高档位下总共进行了三组测试，每组为一分钟时间，试验结果取平均值，如表 5-1 所示。

表 5-1 第一次实验结果

Tab.5- 1 The first set of experimental data result

第一次试验	检测次数/min	漏料次数/min	补给次数/min	补给成功率
高档位测试	60	33.33	28.32	84.86%

可以看出在有漏料情况下，补给机构基本上可以准确地完成补给测试。

5.2.4 低档位情况下的补给测试

启动红枣上料装置较低速度的档位，在低速度上料情况下执行程序。此时由于红枣上料装置的速度相比之前降低，而从检测到漏料到控制系统做出反应进行补给的时间还是原来的设置，需要在下支撑平台的基础上提升红枣的高度以适应，根据计算提升高度为 39.6cm。在低档位运行测试时测试为三组数据，试验结果取平均值，表 5-2 所示。

表 5-2 第二次实验结果

Tab.5-1 The second set of experimental data result

第二次试验	检测次数/min	漏料次数/min	补给次数/min	补给成功率
低档位测试	40	21.67	17.67	81.63%

经过实验测试，在增加了补给机构的基础上，可以看出补给机构基本上能满足红枣上料装置不同档位下的补给。

5.2.5 测试结果分析

结论一：由红枣上料补给机构性能测试实验结果可以得知，设计完成的红枣上料补给机构在有漏料情况下的补给成功率平均在 83.24%，可以满足红枣上料装置的基本的补给需求。

表 5-3 上料率统计

Tab.5-3 Material leakage rate statistics

实验结果	补给前	补给后
上料率	47.81%	90.83%

结论二：由表 5-3 上料率的统计可以得知，补给机构的存在将红枣上料装置的上料率由 47.81%提升到了 90.83%，极大地减少了漏料情况的存在，保障了红枣分级设备的平稳运行。

5.3 红枣上料补给机构的改进

根据以上实验过程中遇到的问题进行了补给机构的部分改进。

红枣上料装置在不考虑漏料的情况下高档位为 60 个枣/分钟，低档位为 40 个枣/分钟，即在送料装置下方高档位为每分钟经过 60 个凹槽，低档位为每分钟经过 40 个凹槽，相邻两个盛放红枣的凹槽距离为 80mm，可以计算出红枣上料装置的运行速度

$$\text{高档位 } v(\text{高}) = 60 \text{ 个} \times 0.08\text{m} / 60\text{s} = 0.080\text{m/s} \quad (5-1)$$

$$\text{低档位 } v(\text{低}) = 40 \text{ 个} \times 0.08\text{m} / 60\text{s} = 0.053\text{m/s} \quad (5-2)$$

根据以上实验中遇到的情况，补给机构需要做出一些改进，总结如下：红枣上料装置有着不同的档位，在已经搭建完成的样机上进行改进以适应不同上料速度下的补给需求，在下支撑平台上方安装一层不同高度的红枣存储装置或者直接将下支撑平台向上调节一段距离，以适应低档位运行下的红枣上料装置，下支撑平台的红枣存储位在高速运行下的红枣上料装置；根据实际情况考虑在动态情况下控制系统的反应时间以及红枣自由落体耗费的时间，将漏料检测装置检测位置设置在送料机构下方之前一段距离。待补给机构进行改进后开始进行动态情况下的补给测试。

5.3.1 补给机构的改进设计

在本设计中，当传感器检测到漏料时，控制系统进行处理并控制执行机构进行补给，这里的反应并非瞬时发生的而红枣上料装置是一直在运动的，在实际测试中发现了此问题并进行了改进，

(1) 在高档位上料进行时，上料速度为 0.080m/s，控制系统从传感器输入信息到做出反应的时间很短，在毫秒级别，所以可忽略不计，红枣从被电磁铁推动到掉落到红枣上料装置所花费的时间：

$$\text{自由落体时间 } h_1 = 1/2 \, g t_1^2 \quad (5-3)$$

$$h_1 = 0.3\text{m}, g \text{ 取 } 9.8\text{m}^2/\text{s}^2, \text{ 则 } t_1 = 0.247\text{s}$$

即从检测到漏料到红枣到达上料装置需要的时间约为 0.247 秒，根据计算：

$$l_1 = v_1 \times t_1 = 0.08\text{m/s} \times 0.247\text{s} = 0.020\text{m} \quad (5-4)$$

根据测试将传感器检测位置在上料装置运行的反方向提前 2 厘米，大约相隔 1/4 个凹槽的位置，在上料装置运行时，当检测到漏料后到红枣掉落时，上料装置恰好运行到送料装置下方，如图 5-2 所示。



图 5-2 传感器的位置调整

Fig.5-2 The sensor's position adjustment

根据补给机构反应时间，进行传感器预先检测位置的计算后，便可以进行补给机构在上料装置高档位上料速度下的性能测试，该测试分为三次，每次运行一分钟。即每组测试都为传感器进行 60 次检测。

(2) 在低档位上料运行情况下，以 (1) 中已经计算出传感器预先检测的位置为基础，进行下支撑平台所存储的红枣的高度调节计算：

传感器预先检测距离为 $l_1=0.020\text{m}$ ，此时在红枣上料装置的运行速度为 $v_2=0.053\text{m/s}$

补给机构反应时间：

$$t_2=l_1 / v_2 =0.020\text{m} / 0.053\text{m/s} = 0.377\text{s} \quad (5-5)$$

控制系统反应时间约为 10ms 可忽略，即：

$$\text{红枣自由落体时间 } t_3 \approx \text{补给机构反应时间 } t_2=0.377\text{s} \quad (5-6)$$

下支撑平台红枣存储高度：

$$h_2=1/2 g t^2=0.696\text{m} \quad (5-7)$$

原下支撑平台高度 $h = 0.3\text{m}$

即在低档位情况下，下支撑平台向上调节 $h_3= h_2-h= 0.696\text{m}-0.3\text{m}=0.396\text{m}$

根据以上计算，所得结论为，当上料装置由高档位运行调节为低档位时，传感器检测位置不变化，下支撑平台不动的基础上，存放红枣的位置通过再架设一个平台向上调节 39.6cm，可继续进行红枣上料装置的补给。

5.3.2 预警装置的增加设计

在下支撑平台的红枣存储设计为 4 个，当 4 个红枣全部被使用后需要进行给补给机构填枣，根据此问题设计了红枣上料补给机构预警装置，当前 3 个红枣使用过后，预警装置发出提示需要给补给机构进行填枣，此时由人工或者机器进行填枣，该装置的改进设计保证了补给机构运行的连续性

补给机构预警装置的设计主要由传感器与树莓派组成，传感器安装位置如图所示，按照红枣被进行补给的顺序，红枣的补给顺序为从 5-3 图中右上方作为第一个开始逆时针进行补给，当第 3 个红枣完成补给时，传感器检测到该信息并将其输入给树莓派，安装图如图 5-3 所示。

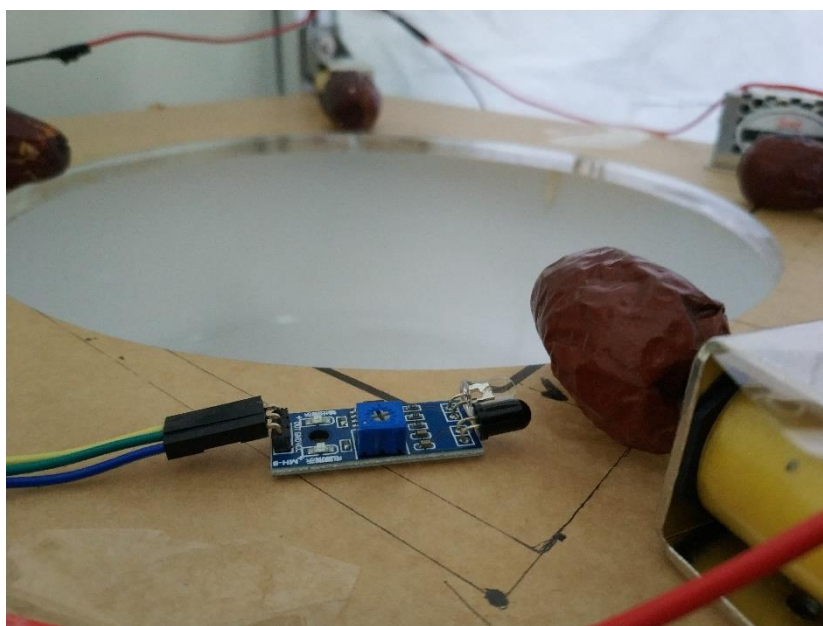


图 5-3 预警装置安装图

Fig.5-3 The installation site of warning device

在本设计中完成了控制程序的设计，该预警装置的成功运行需要一个填料装置在一侧，当预警装置发出警报时，填料装置从补给机构外侧移动至下支撑平台上方，当填料装置就位后，将红枣轻放于下支撑平台的推拉式电磁铁的正前方，即图 5-5 所示的位置，由此，整个补给机构的连续自动化补给便可以成功的保持运行了，在本设计中，该部分设计完成了预警装置。

预警装置控制流程如图 5-4 所示，程序流程图如图 5-5 所示：

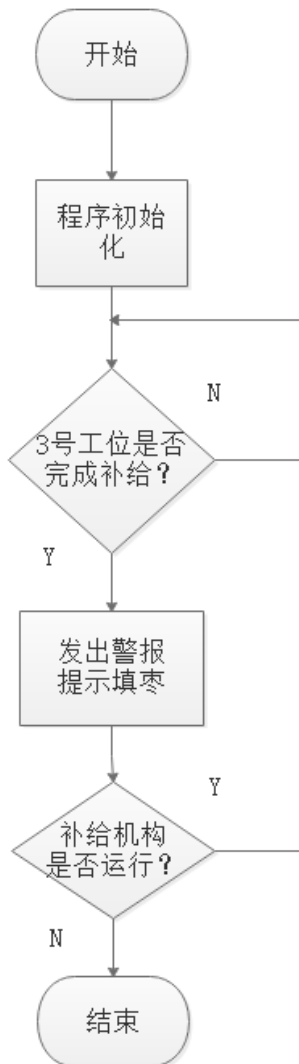


图 5-4 预警装置控制流程图

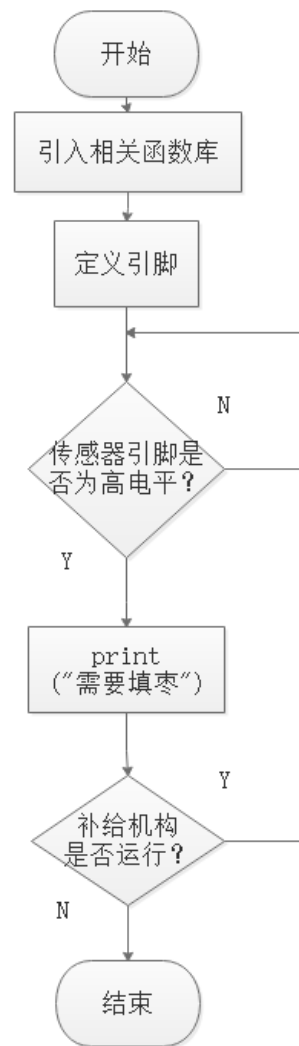


图 5-5 预警装置程序流程图

Fig.5-4 The control flow diagram of warning device

Fig.5-5 The warning device program flow diagram

5.3.3 送料装置的优化改进

在测试实验时发现，由下支撑平台掉落的红枣经过送料装置进入红枣上料装置时，并非所有红枣都可以掉入红枣上料装置的凹槽，一部分会从凹槽左侧或者右侧掉落，现对送料装置进行优化改进，使用两块透明亚克力板粘接在送料装置底部两侧，大小约为 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，厚度约为 3mm 。透明亚克力板的存在不会影响到传感器的工作并保障了红枣不会因一些不确定性因素而掉落凹槽两侧，该装置的改进优化了补给机构的性能，提高了补给成功率。

5.4 本章小结

本章将搭建好的补给机构与上料装置进行了性能测试，进行了以下工作：

- （1）静态情况下的空转运行测试；
- （2）上料装置高档位运行和低档位运行下的补给性能测试；
- （3）实验结果的统计与分析；
- （4）补给机构的一些改进与优化，包括预警装置的增加和送料装置的改进。

在本章进行的实验结果表明：由红枣上料补给机构性能测试实验结果可以得知，设计完成的红枣上料补给机构在有漏料情况下的补给成功率平均在 83.24%，可以满足红枣上料装置的基本的补给需求。本章根据制造和搭建过程中遇到的问题做出了一些优化改进设计使得补给机构的更加完善。

第6章 结论与展望

6.1 研究结论

根据我国目前红枣检测分级研究上料率低、漏料严重的现状，结合自动控制技术，在参考了国内外相关领域研究成果的基础上，设计制造了基于树莓派的红枣上料补给机构，为红枣上料过程的连续提供了保障，在红枣上料补给机构的设计中，主要开展了以下三个方面的研究：

(1) 完成了红枣上料补给机构的机械结构的设计。结合我国红枣检测分级技术的研究现状提出了补给机构的设计要求，将机械结构具体分为承载机构和执行机构。在承载机构的设计中分析了承载机构的支撑平台对框架受力的影响，运用了 ANSYS 软件对受力部位进行了有限元分析，结果表明机械结构设计能满足其受力要求。在执行机构选择了推拉式电磁铁与变压器的具体型号，设计选择了合适的送料装置，能够满足红枣准确落入相应的位置的任务要求。

(2) 完成了红枣上料补给机构的控制系统的设计。对补给机构的控制元件进行了选型，将控制系统分为了漏料检测系统和控制执行系统分别进行研究。建立了 PC 端与控制端的远程连接，实现了通过网页端对补给机构的远程观察，完成了 PC 端对补给机构的远程控制。完成了红枣上料补给机构的软件的设计。完成了程序的编写与测试，使用 PyQt5 设计了软件界面，使用 PyInstaller 将代码打包成 Windows 可执行程序。

(3) 对红枣上料补给机构进行了补料性能测试。为了验证补给机构的设计的合理性，制造搭建了红枣上料补给机构的样机，根据本实验室已有的红枣上料装置，对补给机构样机进行了红枣上料补给性能测试。测试结果表明，补给机构可以较好的满足红枣上料装置的补料需求，在红枣上料装置有漏料情况下的补给成功率可以达到 83%，将红枣上料装置上料率由 47.81% 提升到 90.83%，极大地提高了红枣上料装置的上料率。

通过以上对补给机构进行的三个方面的研究，补给机构可以满足对红枣上料装置的补料需求。

6.2 创新点

(1) 整体结构采用立式结构，占地面积小，大大节约了空间，可在平面作业空间狭小的地方工作。

(2) 整体承载机构采用铝型材，支撑平台采用了亚克力板，即减轻了重量，容易携带和安放，又保证了承载机构的稳定性。

(3) 使用树莓派作为核心控制器，灵敏度高，易于操作，树莓派作为一款小型计算机处理器，将其作为补给机构的核心控制器，即节约了成本也减小了补给机构的外形尺寸。自动化程度高，可快速完成红枣低位上料过程的自动补料，适用于多数红枣

上料装置的补料。

6.3 相关研究展望

红枣上料补给机构作业空间的特殊性与上料装置本身设计决定了补给机构必须根据实际情况做出很多结构上的调整，这也是一个需要不断进行改进和完善的过程，现在对今后的进一步研究做出以下建议：

(1) 在补给机构的上下支撑平台之间可以增加设计填料装置，在本设计中红枣有四个存储位，当所有红枣被补料完成后需要手动填满，可以增加传感器在下支撑平台的红枣存储位，当最后一个红枣完成补给，使用填料装置一次性填满四个红枣存储位，即可实现整个红枣上料补给机构的全自动补给。

(2) 由于测试条件的限制，红枣上料补给机构并未在其他的红枣上料装置上测试过，如果有条件可以做一些实验对不同型号的红枣上料装置进行测试，记录上料装置不同的上料速度下补给机构的运行，以及补给机构对不同高度的上料装置的测试。

红枣上料补给机构对于保证红枣上料过程的稳定性，降低漏料率有着十分重要的作用和影响，目前我国在红枣上料补给方面的研究比较少，现有的一些红枣分级设备主要以人工分级和机械分级为主，在红枣分机设备中大部分的红枣上料装置都有着极高的漏料率而又缺少红枣上料补给机构的设计，现有的红枣分级研究以红枣整体品质检测和对红枣外形、大小进行分级为主，而为检测过程提供红枣的红枣上料装置的研究则被忽略了，极大地影响了后续检测与分级工作的运行。随着中国制造 2025 与工业 4.0 的推进，以及现代精准农业的不断发展，希望红枣分级设备能够更加广泛地应用于工业生产中，取代现有的人工分级，相信今后会有更多的科研人员从事红枣上料补给机构方向的研究，也相信红枣上料补给机构在未来将会得到广泛的应用，在农业工程领域发挥更大的作用。