

# Design and Application of an Egg packing Line on Egg grading Packaging equipment

Yuzhou Zheng

## Abstract

this paper deals with a kind of egg packing line on egg grading packaging equipment, designs its functional components and simulates the motion of the main functional components through SolidWorksMotion, and carries on the field test to the production product, and evaluates the stability of the equipment.

## Keywords

the stability of the motion simulation of the SolidWorksMotion of the seed-egg packaging line

## 一种鸡蛋分级包装装备上的种蛋包装线的设计和运用

郑毓洲

广州广兴牧业设备集团有限公司 广东 广州 510000

**[摘要]** 本文涉及了一种在鸡蛋分级包装装备上的种蛋包装线,设计了其功能部件并通过SolidWorksMotion对主要功能部件进行了运动仿真,并生产了产品进行实地测试,对设备的稳定性进行了评估。

**[关键词]** 种蛋包装线, SolidWorksMotion, 运动仿真, 稳定性

**[DOI]** 10.18686/gcjsfz.v1i3.491

### 1、引言:

目前,国内外越来越多的养鸡场使用鸡蛋自动化分级设备对鸡蛋进行初处理<sup>①</sup>,很多设备像日本共和公司的 jobFP 系列,都是通过接收爪的放蛋方式对鸡蛋进行装托,目前该种方式基本都是应用于商品蛋包装,针对种蛋的包装设备目前国际市场基本都是通过气动吸盘的方式来实现,本文所涉及的种蛋包装线是一种基于接收爪的放蛋方式而设计的种蛋包装线。

种蛋的大小对于雏鸡在不同日龄的发育有着重要的影

响,特别对于肉用种来说,种蛋的大小对其影响可以直至肉鸡的屠宰期<sup>②</sup>。并且种蛋蛋重对于孵化率也有较大影响。研究表明,在同一孵化条件下,选择 52-65g 的鸡蛋入孵,成活率最高<sup>③</sup>。一般鸡蛋的蛋壳厚度为 0.35mm<sup>④</sup>,种蛋由于要用于孵化,而且种蛋托蛋孔非对称分布,托孔上分布棱角,这些要求要设计出一种柔性程度高,同时满足包装效率的包装线。

### 2、种蛋包装线介绍

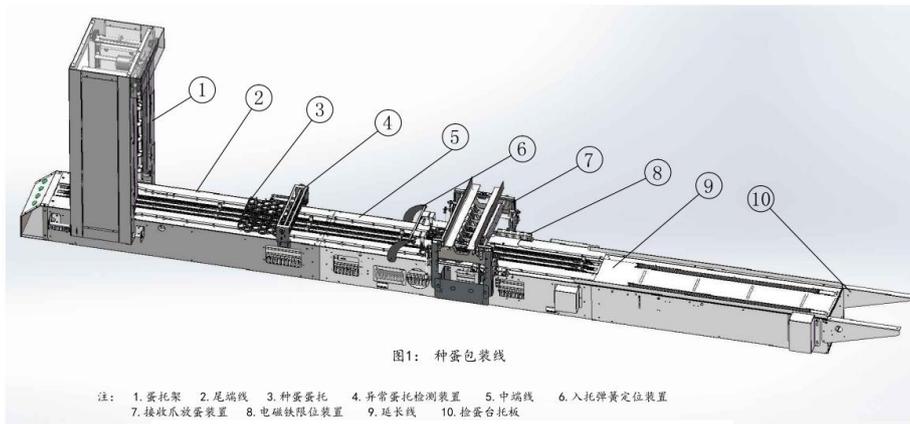


图1: 种蛋包装线

注: 1. 蛋托架 2. 尾端线 3. 种蛋蛋托 4. 异常蛋托检测装置 5. 中端线 6. 入托弹簧定位装置  
7. 接收爪放蛋装置 8. 电磁铁限位装置 9. 延长线 10. 拾蛋台托板

图 1.种蛋包装线 solidworks 整体设计成型图

### 3、种蛋包装线的主要功能设计

#### 3.1 接收爪放蛋装置

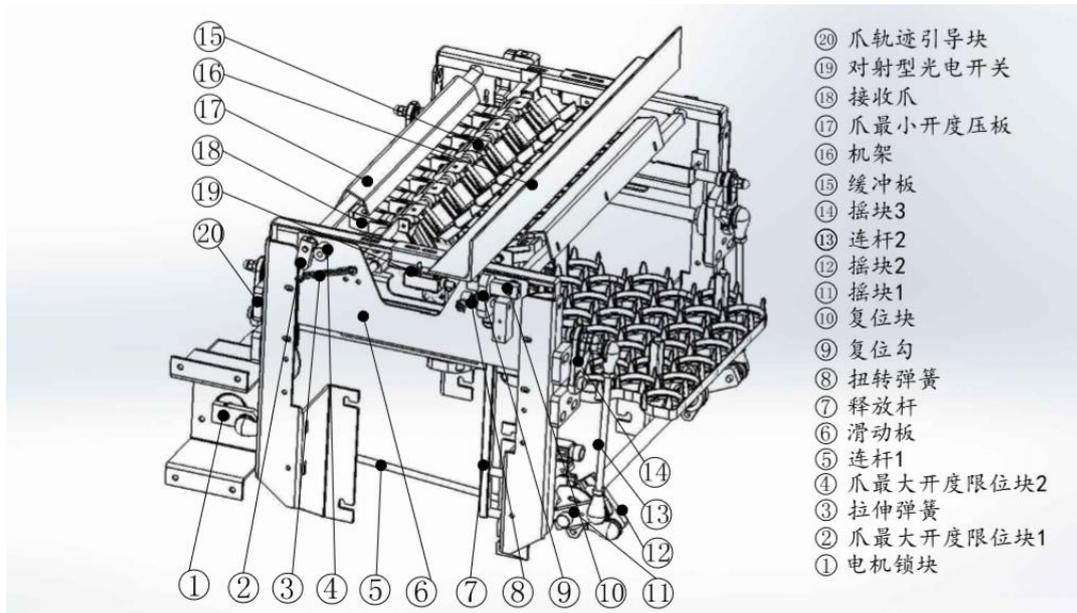


图 2. 接收爪主要构件装配图

图 2 为隐藏了部分零件的接收爪部件图。

运动原理:

该结构实质为一个曲柄摇杆机构, 通过电机带动部件 1 旋转, 部件 5 带动部件 11、12 做摇臂动作, 从而通过部件 13 带动部件 14 也完成摇臂的动作, 部件 6 连接着 6 对接收爪, 一根横向的轴两端装有一个小的轴承, 轴承与部件 14 的槽口接触, 部件 14 动作时将会带动轴承沿着部件 20 的表面滑动, 从而使部件 6 完成上下的运动。

#### 3.2 运动轨迹分析

种蛋接收爪的动作轨迹取决于种蛋托的形状。从图 12 上可以看出种蛋托托孔密布着一些棱角且中间分布着四个立柱。接收爪动作的过程必须要避免跟四个立柱之间的接

触。接收爪的运动轨迹由部件 20 和各传动连杆的长度以及种蛋托的形状特征决定。

##### 3.2.1 轨迹确定:

接受爪两两之间安装有两个压缩弹簧(图 3), 相邻两个爪之间的距离由弹簧力平衡后固定, 当爪在最高点时, 相邻爪距离为 60mm (以下称为爪距), 用于配合上方分配线电磁铁的位置, 当爪在开始放蛋动作之后, 其将沿部件 20, 压缩弹簧, 最后在弹簧力的作用下使其爪距缩小为 47mm, 和种蛋托的蛋孔距离相配合。由于种蛋托存在着四个突起的立柱, 要求爪必须在到达立柱之前缩小到 47mm 的爪距, 否则爪将在收缩过程中与立柱发生干涉, 轨迹路线由部件 20 决定。

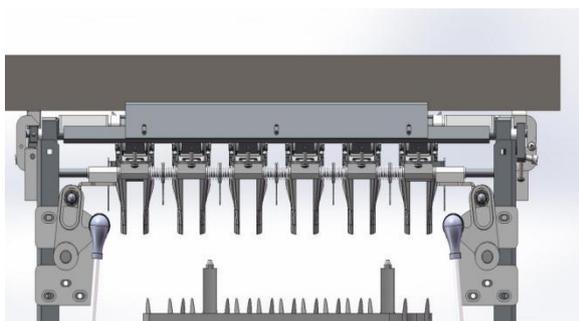


图 3 爪最高点状态图

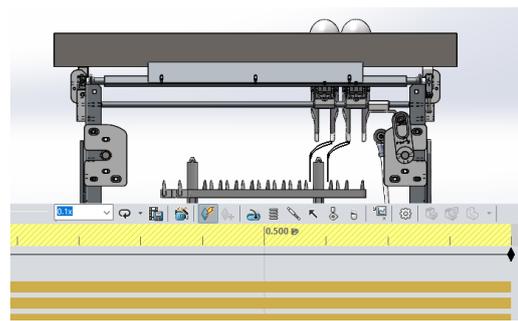


图 4 爪轨迹图

##### 3.2.2 连杆长度确定:

因为曲柄摇杆机构存在极位夹角, 当极位夹角不为零时, 摇杆存在急回特性。极位夹角等于零时, 摇杆将等速运动。对部件 1、5、12 进行极位夹角不为 0 时的设计, 结果如图 5

从图 5 可看出, 当部件 1 水平安装, 放蛋过程将通过回程区, 由于①侧红线位置才是接收爪在最高点时部件 1

的位置, 所以在放蛋过程将会导致接收爪先向上运动到最大位置再向下运动到最低位置。由于水平位置离极限位置很近, 从动作现象来看就是接收爪在开始运动时会先振动一下。所以设计时应该在极位夹角为零的情况下进行连杆长度确定。

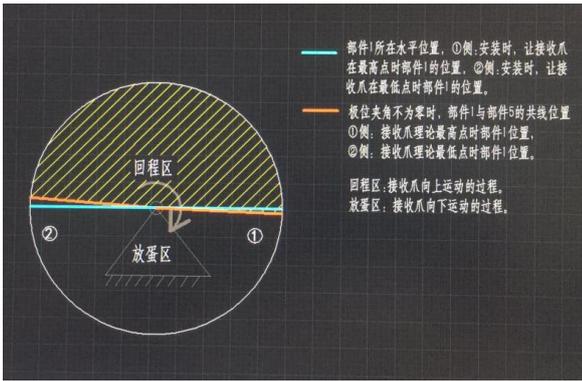


图 5 接收爪动作工作区域图

满足了极位夹角为零, 部件 1 在水平位置时接收爪在最高最低的位置, 从图 2 来看, 部件 11、13、14 是双摇杆机构, 连杆长度可以先根据接收爪最高点时的位置要求先确定一个初值, 这里将部件 13 的连杆长度确定为 130mm。影响接收爪运动过程的关键因素是曲柄摇杆机构中的杆长。让部件 1 长度为 30mm, 部件 12 的长度为 45mm, 部件 5 进行多个取值测试。结果如图:

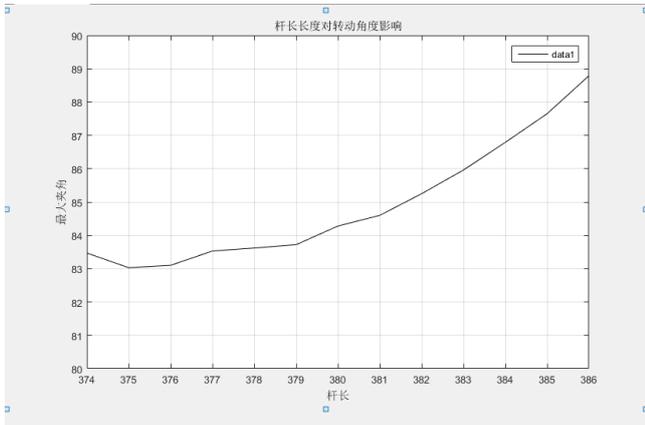


图 6 部件 5 不同取值长度下的摇杆最大夹角

图 6 可看出连杆长度变化对最大夹角影响最低的点在 375~376, 377~379 这两个区间, 连杆长度尽量在这个范围取值可以保证安装效果能达到一个更加稳定的状态。对这个区间的取值进行模拟, 最后取连杆长度为 377mm 时, 鸡蛋

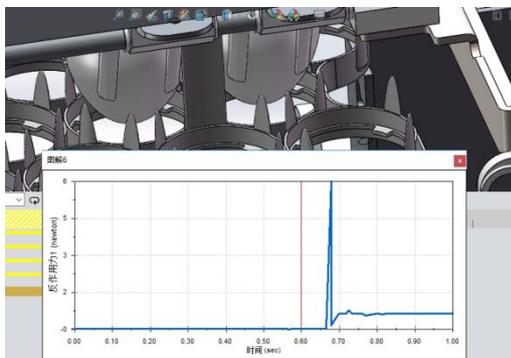


图 8 2.1 万速度下鸡蛋与蛋托接触力曲线

最低点为 2.03mm, 可以满足达到一个良好的放蛋效果。当然也可以取 378mm, 此时鸡蛋的最低点会更低, 因为 2mm 的放蛋高度已经足够低了所以这里取值长度定位 377mm。

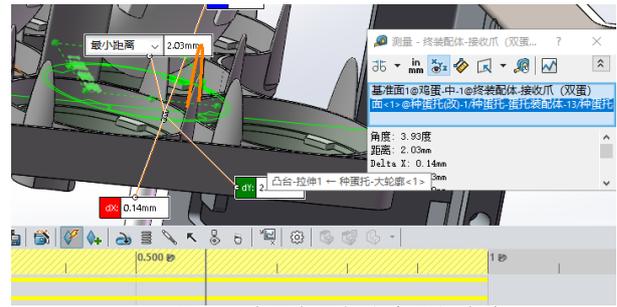


图 7 鸡蛋在最低点离蛋托高度

### 3.3 接收爪运动及作用力仿真分析

图 8 中, 设定鸡蛋的重量为 64g, 接收爪往复运动周期为 1 秒, 进行运动仿真。可以看出在 0.7 秒附近接触力达到最大, 最大值为 6N。据测定, 鸡蛋在 30 个大气压下能不破裂 (1 个标准大气压=0.101 兆帕), 国际要求鸡蛋在竖放时承受 6~8 磅的压力, 约为 27N~36N 的力时破蛋率不超过 1%为好<sup>④</sup>。可以看出 6N 的接触力小于国际测定标准值。鸡蛋在正常入托情况下能极大地保证鸡蛋不破损。

影响图 8 的接触力的关键因素是接收爪的运动速度和鸡蛋在最低点时距离蛋托的下落高度。试验中, 接收爪的动作时间是 1 秒往复运动一次。实际生产中, 设备处理鸡蛋的速度为 2.1 万枚/小时, 接收爪动作时间大概为 1.02 秒, 与仿真时间相符。

根据动能公式:  $MV=Ft$ 。

其中 M 为鸡蛋质量, V 为鸡蛋在最低点时的初始速度, F 为鸡蛋与蛋托的接触力, t 为鸡蛋在最低点下落到托的时间。

可以看出提高接收爪动作的速度和减少其下落时间, 鸡蛋与蛋托的接触力将增大。下落时间由爪最低点离托的高度决定, 设备设计时已经试验得出其最优下落高度, 所以这里主要讨论速度对接触力的影响。由于分级设备对鸡蛋的处理速度最高为 3 万枚/小时, 对鸡蛋在 3 万枚/小时的速度下进行仿真, 得到其接触力如图 9, 可以看出即使在最高处理量, 该接收爪结构依然可以保证鸡蛋在破损力的范围内。

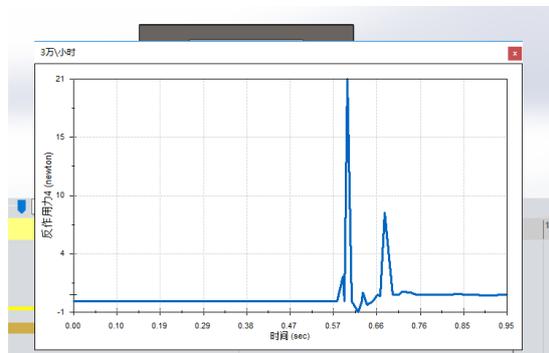


图 9 3 万枚速度下鸡蛋与蛋托的接触力曲线

### 3.4 电磁铁限位装置

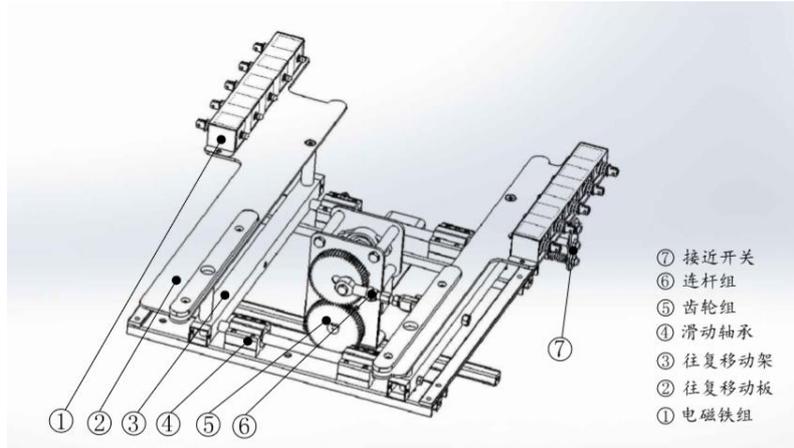


图 10 电磁铁限位机构与往复运动机构

图 10 示出的是电磁铁限位机构和往复运动机构, 伺服电机的物理轴上安装了部件 5, 与上齿轮相啮合, 齿数比是 1:1。电机旋转一周, 部件 3 通过连杆组完成一个往复运动, 其实质为一个对心凸轮机构, 左右移动的距离根据种蛋托来设计, 电磁铁在种蛋托每前进一个列的距离时踢出, 当种蛋托完成一个列运动的动作后, 其惯性会使其向前滑行, 此时电磁铁将起到限位作用, 电磁铁在完成蛋托限位后将缩回。机构上设置了 5 组电磁铁分别对种蛋托的第 3 到第 7 列位置进行限位。电磁铁限位机构相对于机械的限位来说可以最大限度地保证蛋托运动过程没有阻力影响, 更有利于提高整个运动的稳定性, 通过提高电磁铁的灵敏度可以适应更高速度的接收爪动作。

### 3.5 放托功能——蛋托架

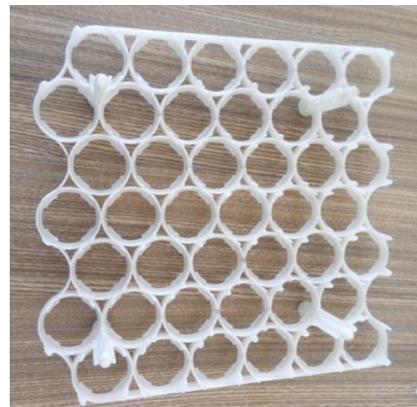


图 12 种蛋托

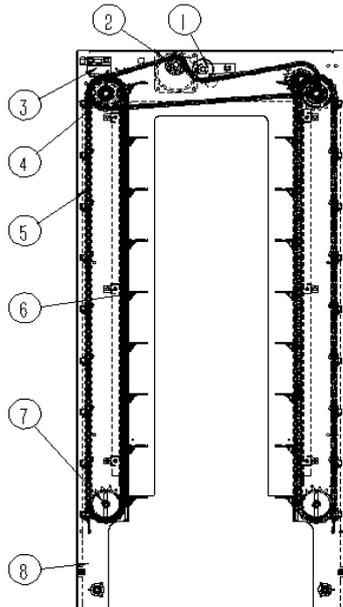


图 11 蛋托架

①压链轮 ②驱动电机 ③行程开关 ④驱动链轮 ⑤驱动链条 ⑥塑料托板 ⑦从动链轮 ⑧蛋托架壳体

动作原理:

该蛋托架根据种蛋托的高度设计了塑料托板间的链节数, 图上为 08B 滚子链, 每 6 个链节布置一个塑料托板。电机驱动链条运动, 在驱动链轮④的轮毂上设置了两个半圆头螺栓, 它们之间的中心孔连线与链轮分度圆直径重合, 每个螺栓在链条运动过程中都会顶起固定在链轮上方的行程开关, 以此触发电机停止的信号, 每触发一次行程开关, 链条运动了 6 个链节, 完成一次放托动作。

### 3.6 异常蛋托检测装置

接收爪在放蛋过程中必须保证蛋托与接收爪不存在任何的干涉和碰撞, 该机构在尾端线部分设置了一个用于检测变形蛋托以及检测空托的装置。

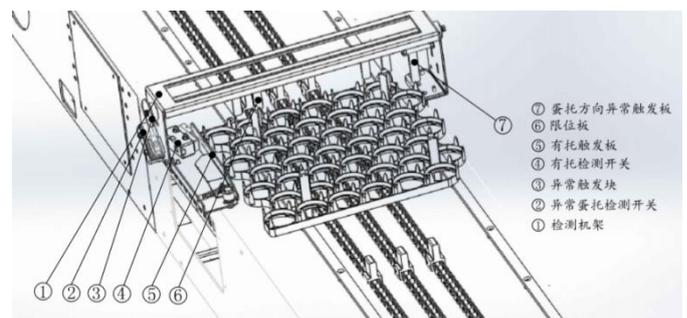


图 12 蛋托检测机构

工作原理:

如图 12, 正常的种蛋托将可以通过该机构, 异常的蛋托, 主要为蛋托上的四个立柱发生了明显的变形, 此时蛋托

通过该机构将碰到该机构的四个限位板, 带动整个活动轴的翻转从而触发行程开关 (部件 2) 报警, 此外, 该机构还可以检测有没有容器通过, 通过的容器将触发行程开关信号 (部件 4), 如果长时间没有触发则可判定为蛋托架已经没有容器供应以此来提醒工人放托。此外, 没有按照规定放托方向放置的蛋托通过该机构将碰撞部件 7 后触发报警, 判定为蛋托异常。

### 3.7 入托弹簧定位装置

放蛋过程是接收爪和下方蛋托运动的配合过程, 设计动作作为每次蛋托前进一列, 接收爪动作一次。对于 6x7 规格的种蛋托来说, 放置完第七列, 即最后一列, 输送链需要将下一个蛋托迅速送入到接收爪下方。由于蛋托运动是通过链条上面的挂钩推动, 换托的过程由于推动速度快会导致蛋托在前进方向产生一个较大的过冲位移, 设计该机构目的在于给蛋托提供一个刹车功能, 其限位的长度为蛋托 2 列的运动范围, 超过 2 列后将由电磁铁作为限位。

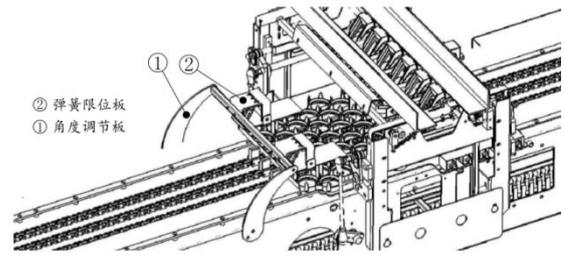


图 13 蛋托限位机构

图 13 所示为蛋托换托后的位置, 此时压板通过被拉伸的弹簧给蛋托一个反作用方向的阻力, 让蛋托紧靠在挂钩链的挂钩上, 保证入托的位置准确。设置弹簧的弹性系数  $K$  值可调整阻力的大小, 经过试验后, 该阻力只要能满足蛋托停止便可, 同时可允许蛋托存在 2 毫米范围内的过冲量。

### 3.8 种蛋包装线动作时序图

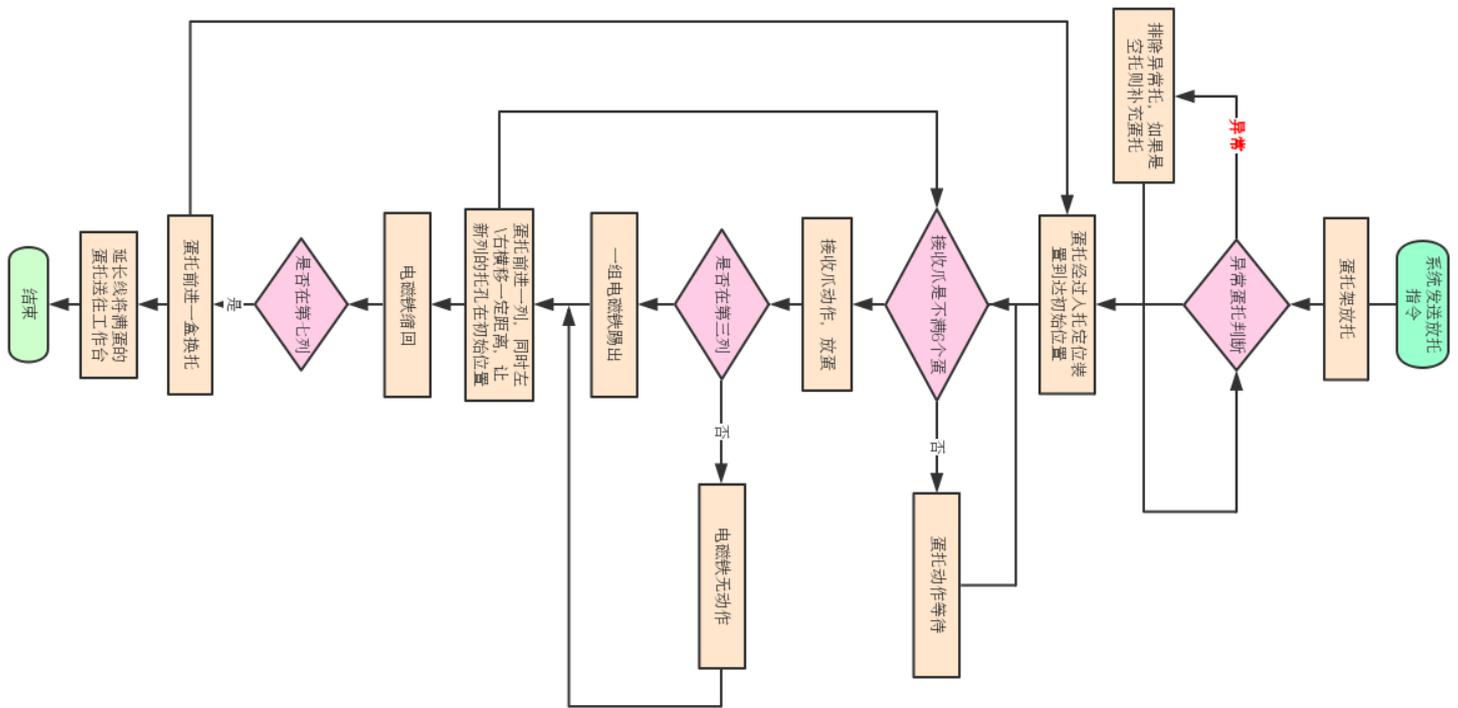


图 14 种蛋包装线动作流程图

## 4、系统及伺服控制

种蛋包装线为搭载于原分配机器上的一个新功能线, 其对种蛋的称重和分配满足原设备的功能, 分配机用的为倍福控制器 CX1100, 其系统控制器与 io 模块通过以太网口进行通讯。

种蛋包装线采用了 TWINCAT2.0 进行运动编程控制, NC 程序控制伺服电机进行运动, 运动控制指令的输入输出通过倍福 IO 模块 EL1809 与 EL2809 来完成。

TwinCAT 是一套纯软件的控制, 完全利用 PC 标配的硬件, 实现逻辑运算和运动控制。从功能上看, 1 台安装了 TwinCAT 运行核的 PC, 相当于 1 台计算机、1 个 PLC

和 1 个运动控制器。所以利用 TwinCAT 软件很方便完成前期的程序设计和调试工作, 通过一台笔记本电脑便可完成前期大部分的测试工作。不过后期为了程序能够稳定运行必须将程序载入到 Beckhoff 的 CX1100 控制器上运行。

TwinCAT 还有一个优点便是其内部数据库有专门针对 NC 伺服电机的控制功能程序库, 可以直接利用程序数据库里的 TcMC2.lib 对伺服电机的动作程序进行编程。每一个伺服电机所带的驱动器相当于控制器的一个从站(控制器为主站, 相当于上位机)这个特点类似于 IO 模块, 通过以太网口将所有的从站与主站连接起来, 便可以在 TwinCAT 的系统管理界面 system manage 扫描出来, 然后进行统一的编程控制。

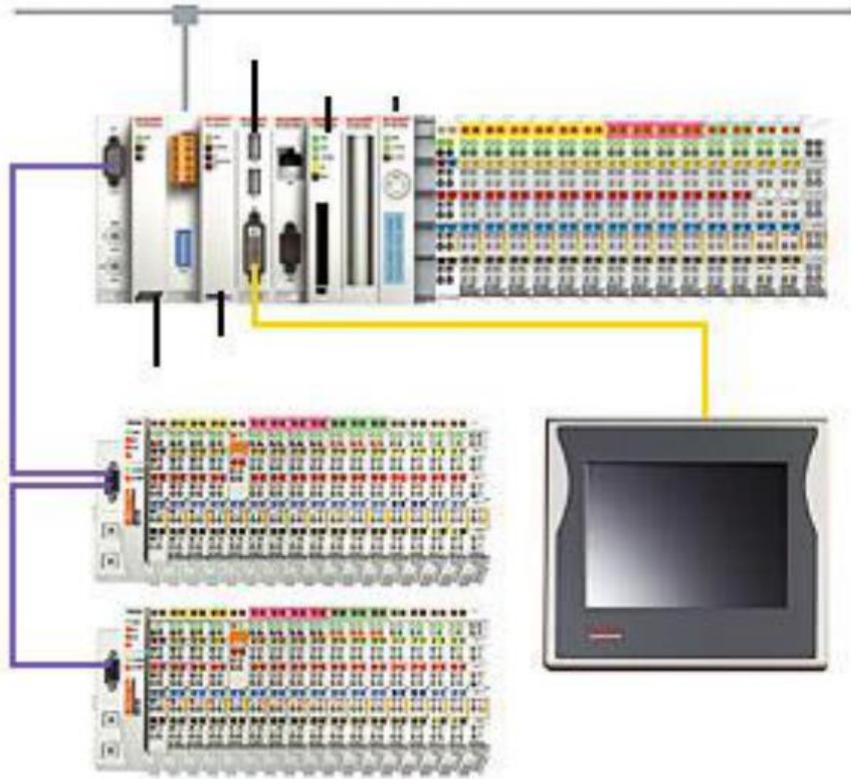


图 15 cx1100 控制器与 io 模块通讯图

所有的输入输出都通过 IO 模块完成，Beckhoff 将大部分的电路功能都进行了模块化，简化了电路图，基本上只需要给我们编程所需要的元器件分配所需要的输入输出点便可以，所有的动作时序通过系统编程来完成。

种蛋包装线根据种蛋托的形状特点和动作要求设计了其运动所需要的托距离和列距离。该包装线通过三条 08B 的挂钩链来推动蛋托的前进，每隔 40 个链节安装一个挂钩，

即两个托距离为 508mm，测量出蛋托列距离为 40.7mm，蛋托左右移动的距离为 23.5mm。这些数据可以直接转换成伺服电机的脉冲数。脉冲数和实际运动步长通过脉冲当量转换。该设计采用的伺服电机为台达的 ASDA-A2-E 系列，其电机内部编码器每转一圈输出的脉冲数为 12800 个脉冲，以下是本实验中伺服驱动的部分参数和编程程序：

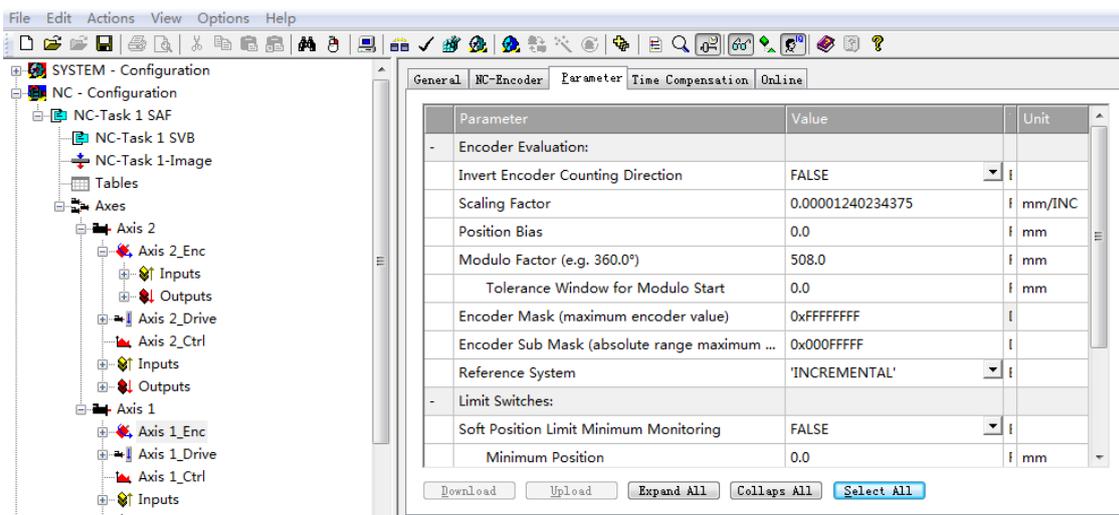


图 16 伺服电机编码器设置

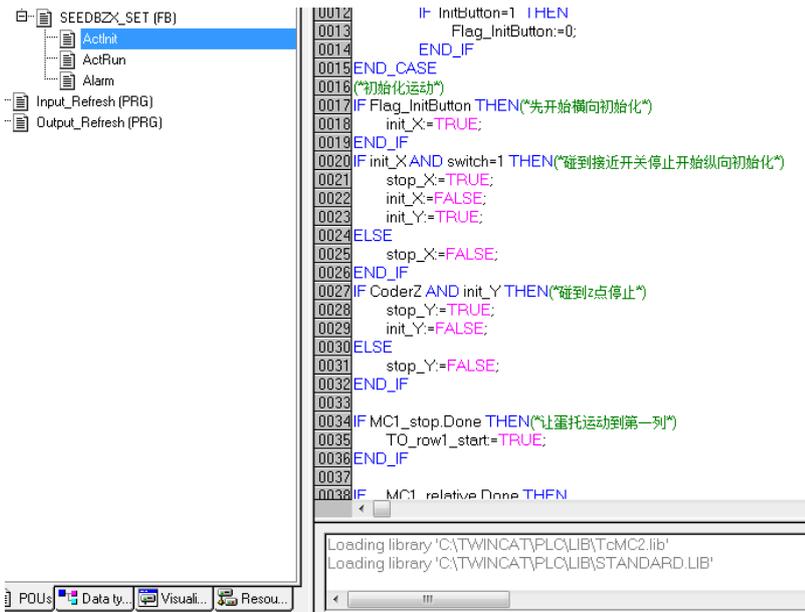


图 17 种蛋包装线调试程序

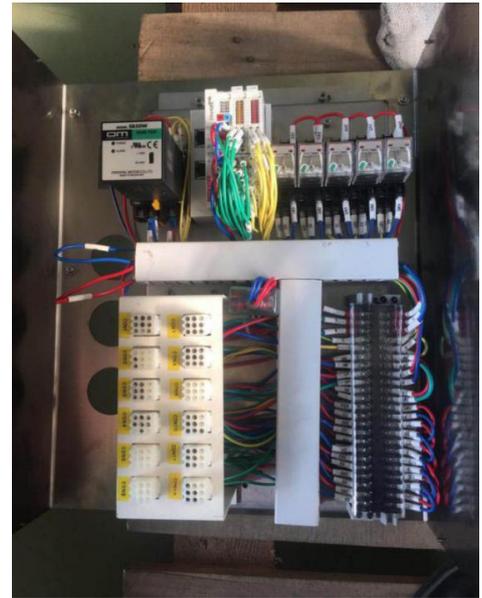


图 18 种蛋包装线控制电箱

## 5 实物成型即现场测试结果

种蛋包装线成型机在江苏一家农场进行实地测试。



图 19 种蛋包装线实地图

农场每天处理种蛋蛋量一般为 4-5 万枚，现场取一万枚老鸡产的种蛋进行测试（300 多天的种鸡所产的蛋，蛋壳比较薄），主要从机器功能稳定性及种蛋放入蛋托后蛋壳有无裂纹进行测试。

测试结果：经过测试，种蛋包装线各部分报警功能正常，包括了对异常蛋托的检测，有无空托的检测，以及接收爪是否叠蛋报警，延长线是否堆托报警。鸡蛋可以平稳地放入蛋托之中，动作柔和。且基本正确且竖直地放在蛋托中，准确率可达 99.5% 以上，随机取样十个托盘里的鸡蛋，共 420 枚，用灯光照射蛋壳表层进行裂纹检查，检查结果为 420 枚鸡蛋

中无裂纹产生。通过试验观察基本可以得出，只要能正确放入接收爪中的鸡蛋（尖头朝下且竖直放在爪中），可以平稳地放入到蛋托中，裂纹产生率低于 0.1%。但是如果鸡蛋未以正常的姿势落入爪中，引起这方面的原因有：鸡蛋畸形、鸡蛋本身存在裂纹、鸡蛋为软蛋。由于接收爪具有自动矫正鸡蛋下落姿势的功能，所以并非所有非正常蛋都会放不进蛋托，且如果放不入蛋托的鸡蛋会重新被接收爪夹回而触发叠蛋报警。工作人员只需要把鸡蛋清除恢复功能即可，并不影响设备的正常使用。

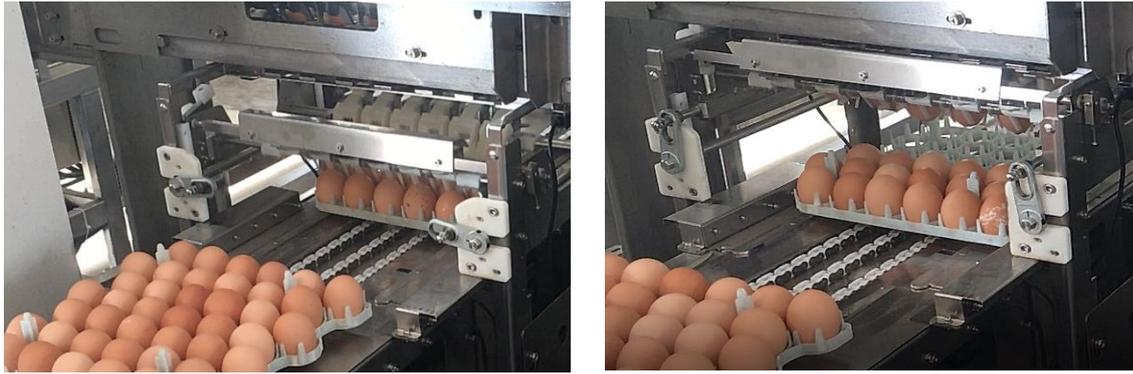


图 20 种蛋以正确姿势落入爪中

## 6 结语:

种蛋包装线经过了长达 1 年多时间的设计和改进以及现场测试,基本可以达到稳定生产满足农场的需求。填补了国内种蛋包装设备上的空白。分级后的种蛋重量均匀,为种鸡育种提供了极大的实用价值。

## 参考文献:

[1] 王鹏云. 鸡蛋分级包装设备主要机构设计和运动仿真[D]. 浙江大学, 2011.

[2] J. J. Joubert . The influence of egg size on the future of development of broilers[J]. 南非: 畜禽研究所, 1980(2):170~175.

[3] 张爱丽, 潘大耐. 蛋重对 10 日龄种蛋尿囊液量的影响[J]. 中国家禽, 2016, 38 (7).

[4] 刘文奎、邹奋、方开旺. 禽蛋的质量指标及其测定方法[J]. 江苏省家禽研究所.

## 稿件信息:

收稿日期: 2019 年 5 月 22 日; 录用日期: 2019 年 6 月 8 日; 发布日期: 2019 年 6 月 20 日

文章引文: 郑毓洲. 一种鸡蛋分级包装装备上的种蛋包装线的设计和运用[J]. 工程技术与发展. 2019, 1(3).

<http://dx.doi.org/10.18686/gcjsfz.v1i3>.

## 知网检索的两种方式

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD> 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 例如: ISSN: 2661-3506/2661-3492, 即可查询

2. 打开知网首页 <http://cnki.net/> 左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询 投稿请点击:

<http://cn.usp-pl.com/index.php/gcjsfz/login> 期刊邮箱: [xueshu@usp-pl.com](mailto:xueshu@usp-pl.com)