

改进型日光温室后置固定式卷帘装置设计与试验

张国祥¹ 傅泽田^{1,2} 李鑫星^{2,3} 严 谨² 杨 菡² 张领先^{2,4}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083;
3. 食品质量与安全北京实验室, 北京 100083; 4. 农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083)

摘要: 基于现有日光温室卷帘的技术分析,选择后置固定式大棚卷帘机作为研究对象,针对其所存在的问题,寻求解决方案,设计改进型日光温室后置固定式卷帘装置,改进后的主体结构包括绳索牵引装置、收放线装置、驱动装置及传动自锁装置4部分。对其卷帘结构中绳索牵引装置的布置以及收放线装置和减速机关键机构的运动机理做进一步分析,并将其与现有日光温室后置固定式卷帘机进行实体比例模型卷帘性能对比试验。在此基础上,针对该改进型卷帘装置进行了卷帘原理验证试验,对从实体比例模型上采集的数据进行数据分析与误差分析,并分析其数据误差来源,针对 NY/T 2205—2012《大棚卷帘机 质量评价技术规范》,进行实体比例模型和实际生产情况验证对比与推算,并由此推断出真实生产中该温室卷帘装置实际卷、放帘时间数据,验证了所设计的改进型日光温室后置固定式卷帘装置符合技术规范中的温室卷帘机卷、放帘时间性能指标要求,进一步验证了该卷帘装置的实施可行性。该改进型日光温室后置固定式卷帘装置的研究提高了后置固定式卷帘机的适用性,为其更大范围内的推广提供了技术支持,可为日光温室作物种植者提供更多的生产便利和提高生产效益。

关键词: 日光温室; 后置固定式卷帘装置; 收放线装置; 设计; 实体模型试验

中图分类号: S625.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)12-0299-10

Design and Experiment of Rear Fixed Type Rolling Shutter Device
in Solar Greenhouse

Zhang Guoxiang¹ Fu Zetian^{1,2} Li Xinxing^{2,3} Yan Jin² Yang Han² Zhang Lingxian^{2,4}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
3. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 100083, China
4. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology (Beijing), Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the analysis of existing mechanical rolling shutter technology in solar greenhouse, the rear fixed type rolling shutter machine was selected as research object. The existing problems of the machine were analyzed and the solution was found, and the rear fixed type rolling shutter device in solar greenhouse was designed. The device was comprised of four parts of rope traction device, including coiling and uncoiling device, driving device and self-locking device. Besides, the layout scheme of rope traction device and movement mechanism of key devices were analyzed, which included coiling and uncoiling device and reducer. Finally, the designed rear fixed type rolling shutter device was proved, which indicated that it was better than the existed one by contrast experiment and the structure principle of rear fixed type rolling shutter device by test of physical model. According to the data of the test of physical model, the test errors and error source were analyzed. According to the comparison of physical model and actual production situation and calculation of the test data, the performance data of rear fixed

收稿日期: 2016-04-22 修回日期: 2016-06-11
基金项目: 叶类蔬菜产业技术体系北京市创新团队建设专项资金项目(BAIC07-2016)和天津市科技支撑计划项目(15ZCZDNC00120)
作者简介: 张国祥(1994—),男,博士生,主要从事农业装备与机械化工程研究,E-mail: zhangguoxiang@cau.edu.cn
通信作者: 张领先(1970—),男,副教授,主要从事农业系统与知识工程研究,E-mail: zlx131@163.com

后将卷帘铺放在绳索上,绳索穿过温室后墙上的导线支架和汇线装置,被牵引至收放线装置上,牵引绳索缠绕在收放线装置的绕线筒上,转动绕线筒缠绕绳索,完成卷、放帘工作;在电路控制方面采用便于实现的低压电器控制,并在日光温室棚面上、下限位置安装可拆卸式的限位开关,保证生产作业安全。

2 卷帘装置设计

2.1 绳索牵引装置

如图 1 所示,日光温室的卷帘由多根绳索牵引,沿大棚表面被卷起,绳索的一端可栓接在拉杆上,绳索经过导线支架,被引导至汇线装置,汇线装置中的导线轮呈等腰梯形交错排布,能够有效地防止绳索在牵引过程中发生干涉情况。通过导线支架、汇线装置所组成的绳索牵引装置,可以将绳索分别引导到预定轨道上,有效地防止牵引绳索发生缠绕交错、产生干涉等现象而影响日光温室卷帘作业。在牵引过程中,为保证绳索受力均匀,导线支架需要按一定间隔均匀地布置在温室后墙上方,汇线装置则安装在后墙上方中间位置。绳索最终被牵引到地面的收放线装置上,绳索的另一端被栓接在绕线筒上。通过绳索牵引装置,可以将日光温室卷帘装置中的交流电动机、减速机等主要部件安装在日光温室后墙底部的地面上,为日光温室后置固定式卷帘机的维修与使用提供了更多的便利,也防止因装置较重而导致日光温室棚体损坏等问题。

如图 2 所示,导线支架须按一定的间隔均匀地布置在温室后墙上方,且间距 S 应符合卷帘卷轴的结构强度要求,卷轴往往采用空心圆管,其卷轴外径 D 、内径 d 与间距 S 需满足的强度条件是

$$\frac{32GSs\sin\alpha\left[\frac{1}{4(n-1)}-\frac{S}{8L}\right]}{\pi D^3\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}\leqslant\sigma_s\tag{1}$$

式中 G ——卷轴和卷帘的自身重力
 α ——日光温室棚面与地面所成最大夹角

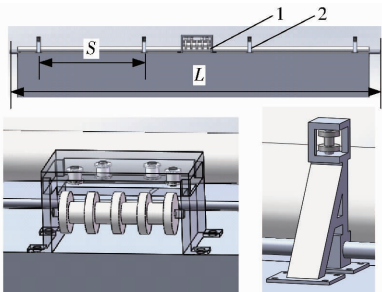


图 2 绳索牵引装置三维结构简图

Fig. 2 3-D schematic diagram of rope traction device

1. 汇线装置 2. 导线支架

n ——所布置的导线支架装置总数

L ——卷轴总长

σ_s ——卷轴所用材料的许用应力

式(1)所得为理论相邻导线支架布置距离,为保证卷帘安全,可根据需要进一步缩小间距,通过式(1)的计算,可以确定日光温室卷帘所需的卷轴参数与导线支架的布置条件。同时,所选用的牵引绳索也需要满足一定的强度要求,牵引绳索线径 d_s 应满足

$$\frac{4Gs\sin\alpha}{(n-1)\pi d_s^2}\leqslant\sigma'_s\tag{2}$$

式中 σ'_s ——所用牵引绳索的许用应力

通过式(1)、(2)计算,可以确定卷帘过程中牵引绳索的参数条件。

2.2 收放线装置

后置固定式卷帘机在使用时,常会出现缠线混乱、无序叠线等作业问题,如图 3^[12]所示。为了整理卷绳,使用者往往在未停机的情况下,进行人工整理,其衣物可能在牵引绳索和卷轴的啮合点处被卡住,随后肢体被卷帘绳卡在卷轴上,若不能及时停车,就会造成严重的人员身体损伤,甚至危及生命安全;此外动力装置与卷轴的连接,一般选用万向节联轴器连接,卷轴长度较长,由很多根钢管连接而成,连接处多采用法兰盘螺栓联接,这些地方都会存在凸起明显的螺栓或其他凸起部件,如果缺乏必要的安全保护,凸起部件就会挂到衣物,造成事故的发生,这些事故的发生在后置固定式卷帘机使用时极为常见,也是后置固定式卷帘机最难以解决的安全隐患^[13]。



图 3 日光温室卷帘中的缠线混乱、无序叠线现象

Fig. 3 Phenomenon of winding chaos in rolling of solar greenhouse

出于以上考虑,为避免日光温室后置固定式卷帘机卷帘过程出现的缠线混乱、无序叠线作业问题,设计了用于日光温室卷帘的收放线装置,如图 4 所示。

如图 4 所示,减速机的输出轴通过联轴器与收放线装置中的绕线杆固结联动,绕线杆在转动绕线的同时,通过齿轮传动方式带动丝杠的转动,而在此时,与丝杠配套有相同螺纹内圈的导线器,由于丝杠传动和导杆的限制,随着丝杠的转动做水平方向上

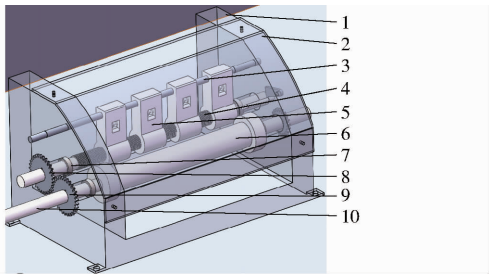


图4 收放线装置三维结构简图

Fig.4 3-D schematic diagram of coiling and uncoiling device
1. 基座 2. 保护罩壳 3. 导杆 4. 丝杠 5. 导线器 6. 绕线筒
7. 轴承 8. 传动齿轮 A 9. 传动齿轮 B 10. 绕线杆

的平动。牵引绳索穿过导线器上的小孔，绳索的一端被栓接在绕线筒上，绳索缠绕在绕线筒上进行绕线作业，同时在导线器绕线小孔的限制下作水平方向上的移动，如此，可以实现牵引绳索在绕线筒上的间隔依序缠绕，从而避免无序叠线作业问题的产生，也不需要人为地进行牵引绳索整理工作，防止卷帘过程中安全生产事故的发生。

收放线装置在收放线的过程中，传动齿轮 A 与传动齿轮 B 须满足一定的配合条件，配合选用合适导程和长度的丝杠，才能避免出现牵引绳索无序叠线。绕线杆上的传动齿轮 B 和丝杠上的传动齿轮 A 分别选用齿数 n_1 和 n_2 、模数均为 m 的齿轮，此时齿轮组的传动比为 $n_1:n_2$ 。这里只对齿轮传动比具有要求，对于传动齿轮数量及其具体齿数并没有严格要求，也可以用多个齿轮组成传动比为 $n_1:n_2$ 的齿轮传动组，用以实现动力传递。此时的绕线筒每转动一圈，丝杠转动 n_2/n_1 圈，导线器水平移动 n_2/n_1 个导程，所以此时绳索的线径需要小于 n_2/n_1 个丝杠导程大小的距离，即可避免叠线，即：

丝杠导程选用应满足条件

$$l \geq \frac{n_1}{n_2} d_s \tag{3}$$

在确定牵引绳索线径后，选择合适传动比的齿轮传动组，即可根据式(3)确定丝杠导程，设绕线筒的直径为 D_1 ，所以，绳索在绕线筒上需绕的圈数为

$$N = \frac{2X}{\sqrt{(\pi D_1)^2 + l^2}} \tag{4}$$

式中的棚面卷帘行程距离 X 为棚面的上、下限位开关之间的行程距离，所以导线器在收线结束后，水平移动距离为 Nl ，故导线器之间的间隔需大于 Nl ，以防止因为间距过小造成干涉而产生各绕线组之间的无序叠线情况，整根丝杠的螺纹长度也应大于 nNl 。

根据以上的公式参数计算即可确定收放线装置各组成部件具体参数，再依据各部件参数，设计收

放线装置基座，进行部件组装，在收放线装置上装有保护壳罩，一方面可以防止雨雪天气及外部因素对绕线工作造成干扰，另一方面，防止使用者的衣物或是肢体被卷帘绳牵扯，造成使用者的人身伤亡损失，导线支架和汇线装置也有类似结构，作用与之相仿，都作为一种安全保护措施，但出于安全考虑在进行检查维修时，仍需要在交流电动机停机后，将保护罩壳拆卸下来，方可进行检查维修工作^[12-14]。

2.3 减速机设计与参数确定

确定传动方案：根据设计要求，传动路线为：交流电动机—联轴器—蜗轮蜗杆柱齿轮减速机—联轴器—绕线杆。其传动方案如图5所示。

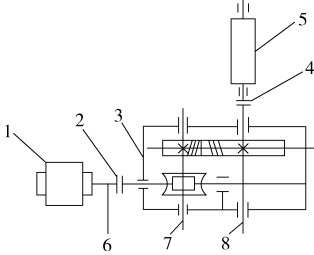


图5 传动方案图

Fig.5 Transmission system diagram

1. 交流电动机 2、4. 联轴器 3. 蜗轮蜗杆柱齿轮减速机 5. 绕线杆 6. 轴Ⅰ 7. 轴Ⅱ 8. 轴Ⅲ

传统日光温室卷帘机的减速机为满足较大的传动比需求，往往使用直齿轮多级减速传动，传动效率低、机体笨重，造成温室棚体负荷极大，且因为不具备自锁功能，无法阻止卷帘卷轴失控下滑，存在较大的安全隐患。而具有自锁功能、传动效率高的蜗轮蜗杆减速机又因为传动损耗会造成极大的生产损耗，日光温室卷帘机减速器的选择问题一直未得到根本解决^[8]。

本文采用蜗轮蜗杆柱齿轮减速机，一级传动采用蜗轮蜗杆传动，与动力输入端相接，可以有效提高传动效率，二级传动采用齿轮传动，与动力输出端（负载端）相接可以有效减少传动损耗，在传动方式上又兼具蜗轮蜗杆传动和齿轮传动的优点，在满足日光温室卷帘机对较大传动比需要的同时，实现了自锁功能，保证工作安全，而且减速器的整体结构更加紧凑、简单、使用轻便，相比较传统的直齿轮多级减速器，在生产成本上并没有过多的增加，具有很高的性价比，且在运行过程中，齿轮磨损程度较轻，运行平稳，振动、噪声小，使用寿命长^[15-16]。

根据后置固定式卷帘机组的工作生产要求，选用 Y 系列全封闭自扇冷式电动机。以 60 m 棚长的日光温室为例，选择合适的卷轴、卷帘和牵引绳索，根据受力分析，确定最大载荷位置，确定各级传动轴所需的转矩，并根据卷帘所需时长与绕线筒的直径

以确定各传动轴的转速。依此可得到驱动装置输出轴(即减速机的输出轴)所需输入功率为 4.35 kW。由于采用蜗轮蜗杆柱齿轮减速机,可以由此确定各级传动比及其传动效率,进而确定减速机总的传动效率和总传动比,由此可以计算出所需交流电动机的输出功率为 7.5 kW,转速为 86~1 376 r/min。在综合考虑电动机和传动装置的尺寸、重量、价格、传动比及市场供应情况,选用 Y132M-6 型电动机,其性能参数为:输出功率为 7.5 kW,输出转速为 1 000 r/min。具体计算数据如表 1 所示^[16-18]。

表 1 传动装置运动和动力参数

Tab.1 Kinematic and dynamic parameters of transmission device

项目	输入功率/ kW	转速/ (r·min ⁻¹)	输入转矩/ (N·m)	传动比	效率
电动机轴	5.84	970	57.5	1.0	0.98
轴 I	5.72	970	56.47	60	0.79
轴 II	4.53	16.2	2 680		
轴 III	4.35	4.3	9 704.5	3.8	0.96

2.4 传动自锁装置

传动自锁装置作为日光温室卷帘过程中的重要部分,可以有效防止卷、放帘过程中或在卷、放帘工作完成后,由于交流电动力不足或是电动机停机情况下,牵引绳索无法提供必要的牵引拉力,而导致卷帘卷轴失控滑落,造成生产者受到人身伤害和财产损失^[13]。

所设计的改进型日光温室后置固定式卷帘机的传动自锁装置可分为减速机的自锁和收放线装置的自锁 2 部分。减速机选用蜗轮蜗杆柱齿轮减速机实现了减速机的自锁。收放线装置的自锁原理为棘轮自锁,具体装置三维结构简图如图 6 所示。

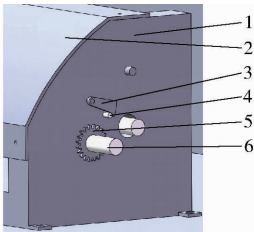


图 6 自锁装置三维结构简图

Fig. 6 3-D schematic diagram of self-locking device

1. 基座 2. 罩壳 3. 卡爪 4. 限位销 5. 限位齿轮 6. 绕线杆

在收放线装置基座的传动齿轮相对一侧安装自锁机构,限位齿轮通过键连接与绕线杆固结,卡爪与限位齿轮的齿形相合,可以卡入限位齿轮中,在需要自锁时,将卡爪卡紧限位齿轮,并用限位销进行限位卡死,实现收放线装置的自锁。所设计的改进型日光温室后置固定式卷帘装置卷帘过程中的具体自锁

操作如下:当卷、放帘工作完成后,由于蜗轮蜗杆柱齿轮减速机的作用,整体卷帘装置自锁,卷帘卷轴停至当前位置,此时可将收放线装置自锁,使当前卷帘装置处于双重自锁状态,此时可将减速机和交流电动机拆下,此时的整体卷帘装置在收放线装置自锁结构作用下,依旧处于自锁状态,拆卸下来的减速机和交流电动机可以用于其它日光温室的卷、放帘工作,如此实现了减速机和交流电动机的一机多用。

通过收放线装置的自锁机构,配合选用的蜗轮蜗杆柱齿轮减速机,可以实现双重自锁,在加强整体卷帘装置安全性的同时,可以实现减速机和交流电机的可拆卸功能,对于日光温室规模数量不大的生产农户,可以大幅度减少生产成本,提高生产效率^[19]。

3 试验与结果分析

3.1 试验模型搭建

改进型日光温室后置固定式卷帘装置的试验过程采用实体比例模型验证试验,模型整体建筑结构采用 PVC 板搭建而成,模型温室棚长 65 cm,棚宽 60 cm,后墙高度 25 cm,前墙高度为 4 cm,棚面呈倾斜平面形状,覆盖 3 mm 厚度的亚克力薄板,通过测量计算温室模型的棚宽、后墙模型高度和前墙的实体模型高度,得到实体模型建筑与真实日光温室棚室的尺寸比例为 1:12,改进型日光温室后置固定式卷帘装置的模型实体图及其规格尺寸具体数据如图 7、表 2 所示。



图 7 卷帘装置模型实体图

Fig. 7 Model entity diagram of rolling shutter device

为进行卷帘性能对比试验,同样建立了现有的日光温室后置固定式卷帘机的实体比例模型,卷帘装置模型控制电路的卷帘电路控制板上集成有直接控制减速电动机的继电器模块、控制单片机模块,315M 射频接收模块以及电源模块、行程限位开关插口等^[20-21],控制板采用 24 V 直流供电,配套无线按键控制器,其中集成有 315M 无线发射模块,采用 5 V 直流干电池供电,卷帘电路控制板和无线按键控制器实物图如图 8 所示。

将所设计的改进型后置固定式卷帘装置和现有后置固定式卷帘机进行实体比例模型卷帘性能对比试验,并针对改进型卷帘装置,选择绕线筒上绳索圈数 N ,导线器行进距离 X (以收放线装置基座外侧为

表 2 实体模型结构数据
Tab.2 Construction data of entity model

绳索牵引装置	导线支架	模型后墙上,间隔 16 cm 安装固定一个导线支架,共 4 个导线支架
	汇线装置	在后墙中间位置安装固定汇线装置
收放线装置	基座	装置基座整体由 PVC 板构成,长度 250 mm,宽度 120 mm
	传动齿轮组	传动齿轮选用 3 个模数 0.5、齿数 56 的塑料齿轮,组成传动齿轮组,传动比为 1:1
	丝杠传动	传动丝杠选用直径 8 mm,导程 2 mm,丝杠长度 300 mm,与之配套的丝杠螺母共 4 个
	牵引绳索	选用线径为 1 mm 的绳索 4 根
驱动装置	绕线杆与绕线筒	绕线筒长度 130 mm,直径 25 mm,绕线杆直径 5 mm,长度 200 mm
	直流减速电动机	通过联轴器将减速电动机输出轴与绕线杆连接,电动机联轴器 D19L25×5×8 一个,直流蜗轮蜗杆减速电动机 634JSX101-31ZY 型,具体参数为:电动机输出轴直径:8 mm,直流电压:12 V,额定转速 56 r/min
控制电路	低压电器控制	作为直接控制电路,通过控制板上的继电器模块直接控制减速电动机的“正-反-停”,控制板采用 24 V 直流供电
	无线控制	控制板上集成了单片机模块和 315M 射频接收模块,配套一个无线按键控制器,其中集成 315M 无线发射模块,采用 5 V 直流干电池供电
	限位开关	在温室棚面、下限位位置安装触断限位开关,采用抽插的方式接入直接控制电路中,方便拆卸。整体棚面长度为 65 cm,上、下限位开关间隔距离为 45 cm



图 8 卷帘电路控制板和无线按键控制器
Fig.8 Diagram of circuit control board and wireless key controller

参考基准),棚面卷帘移动距离 Y 作为试验测量对象,进行卷帘装置原理验证试验,测量模型卷帘时间,观察卷帘效果、各部件运行情况及绕线筒上的绕线情况以及是否出现无序叠线现象。

3.2 试验结果

基于相同动力输出条件下,对改进型后置固定式卷帘装置和现有后置固定式卷帘机进行实体比例模型卷帘性能对比试验,具体试验结果如图 9 所示。

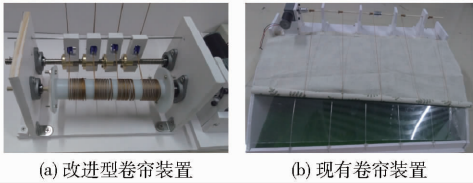


图 9 卷帘性能对比试验结果
Fig.9 Testing result of contrasting performance of rolling shutter device

从图 9 的试验结果来看,所设计的改进型日光温室后置固定式卷帘装置的卷帘效果明显优于现有的日光温室后置固定式卷帘装置。

对比试验中,分别对改进型卷帘装置与现有卷帘装置的实体比例模型进行卷帘试验 25 次,2 个卷帘装置上均有 4 个绕线组,从表 3 的卷帘性能对比试验数据可以发现,现有卷帘装置的实体比例模型

在卷帘过程中的无序叠线率达到 22%,卷帘不齐率高达 80%,而改进型卷帘装置则在卷帘过程中未出现明显的无序叠线现象,且卷帘效果好,未出现卷帘不齐现象。

表 3 卷帘性能对比试验数据
Tab.3 Test data for contrasting performance of rolling shutter device

参数	数值	
	改进型卷帘装置	现有卷帘装置
卷帘行程距离/cm	41.0	30.0
绕线筒(杆)直径/cm	2.5	0.5
绕线圈数	11	35
绕线组数	4	4
卷帘次数	25	25
发生明显无序叠线的试验次数	0	14
无序叠线发生时间	卷帘开始	卷帘开始与 卷帘后期
无序叠线率/%	0	22
卷帘不齐率/%	0	80

对改进型日光温室后置固定式卷帘装置进行卷帘装置原理验证试验:首先对改进型日光温室卷帘装置的温室卷帘模型的实际卷、放帘时间进行了测量,采用 3 次测量得其平均值的方法测量得到:平均卷帘时间 12.91 s,平均放帘时间 12.41 s,具体结果如表 4 所示。

表 4 实体模型实际卷、放帘时间
Tab.4 Actual time of coiling and uncoiling for entity model

试验序号	卷帘时间	放帘时间
1	12.95	12.40
2	12.88	12.36
3	12.90	12.47
平均值	12.91	12.41

测量得到丝杠总长度为 300 mm,试验利用长度为 150 mm,导线器间距 24.5 mm,栓结在绕线筒的绳索端点间距 28 mm。

装置卷帘过程中,牵引绳索缠绕有序,在绕线筒上间距均匀明显,在缠绕稳定后的间距为 1 mm,缠绕圈数约 11 圈,导线器行进总距离为 20.4 mm,卷轴卷帘在温室模型棚面上的总移动距离为 41.0 mm,在对改进型卷帘装置进行卷帘试验过程中,在绕线过程开始阶段,收放线装置上存在无序叠线情况,但在绕线第 3 圈后现象消失,牵引绳索均匀缠绕在绕线筒上,间距稳定在 1 mm 左右,具体卷帘过程中,卷帘装置性能试验结果如表 5 所示。

表 5 改进型卷帘装置原理验证试验结果

Tab.5 Principle validation test results of improved rolling shutter device

绕线筒上 绳索圈数 N	导线器行进 距离 X/mm	棚面卷帘移动 距离 Y/cm	“叠线”现象
1	0	0	无
2	2.25	4.5	有
3	4.30	8.7	有
4	6.50	12.5	无
5	8.48	16.5	无
6	10.46	20.5	无
7	12.45	24.7	无
8	14.35	29.0	无
9	16.44	32.8	无
10	18.38	36.8	无
11	20.40	41.0	无

3.3 试验结果分析

(1) 卷帘性能对比试验结果分析

表 3 中的卷帘性能对比试验数据的无序叠线率 β 与卷帘不齐率 λ 的计算公式为

$$\beta = \frac{M_1}{N_1} \times 100\% \tag{5}$$

$$\lambda = \frac{M_2}{N_2} \times 100\% \tag{6}$$

式中 M_1 ——各绕线组明显无序叠线次数
 N_1 ——各绕线组绕线总次数
 M_2 ——卷帘过程中卷帘不齐次数
 N_2 ——卷帘总次数

现有的后置固定式卷帘装置,其本身对于牵引绳索缺乏足够的约束,卷帘过程中,绳索在缠绕过程中会因为自然滑落而相互依次紧贴缠绕,但会因为绕线圈数过多,在绳索水平牵引分力的作用下,产生回绕叠线的现象,这并不是严格意义上无序叠线,但同样对卷帘安全性造成威胁,这也是其无序叠线现象多发生在卷帘后期的重要原因,且现有卷帘装置

的绕线方式很容易因为受到外界干扰而导致缠线紊乱,进而引发缠线混乱、无序叠线等现象,且无序叠线一旦在某处发生,其程度便会不断累积加剧,影响到其他的卷绳部位,进而影响整体卷帘效果,由此导致卷帘发生明显的倾斜,卷帘性能对比试验过程中,甚至出现现有卷帘装置模型由于无序叠线,牵引绳索不受控制地滑落而导致卷帘发生剧烈的振动,由此对整体卷帘装置产生较大的突发性冲击与载荷,使卷帘装置本身存在较大的安全隐患。

相比较而言,所设计的改进型日光温室后置固定式卷帘装置在卷帘性能对比试验中,因为整体卷帘装置对牵引绳索具有较大约束,则没有出现明显的缠线混乱、无序叠线等现象,且因为绕线圈数较少,也一定程度上减小产生缠线混乱、无序叠线等现象的风险,在卷帘过程中,改进型卷帘装置整体运行平稳,卷帘效果较好。

(2) 传动机构原理验证试验结果分析

卷帘装置模型整体运行稳定,其中,传动齿轮组的齿轮传动比 $n_1:n_2$ 为 1:1,即绕线筒每转动一圈,丝杠也转动 1 圈,导线器水平移动 1 个导程 2 mm,绳索的线径为 1 mm,从理论计算上,可以避免无序叠线,满足装置要求,并且使绳索缠绕在绕线筒上有 1 mm 的间距。通过以上的试验结果可以发现其试验结果基本与理论计算结果相符。

牵引绳索在绕线筒上缠绕圈数理论计算结果为

$$N = \frac{2X}{\sqrt{(\pi D_1)^2 + l^2}} = \frac{2 \times 450}{\sqrt{(25\pi)^2 + 2^2}} = 11.5 \tag{7}$$

式中的棚面卷帘行程距离 X 为棚面上的上、下限位开关之间的行程距离,其值为 450 mm,由此可知其理论计算牵引绳索在绕线筒上缠绕的圈数与实际测量圈数基本相符。

收放线装置上安装的导线器间距为 24.5 mm,大于理论计算值 $Nl = 24$ mm(这里为安全考虑,将绕线筒上绳索圈数 N 扩大为 12),从试验效果看可以避免因为导线器间距过小造成干涉而产生各绕线组之间的绳索相互叠线,整根丝杠的螺纹长度为 300 mm,利用长度为 150 mm,大于其理论计算值 $nNl = 96$ mm。

由以上的传动机构验证试验结果分析可知,卷帘装置传动结构设计合理,卷帘效果较好,也验证该卷帘装置传动结构原理在实际生产中的可行性。

(3) 验证试验结果及其数据误差分析

将根据在卷帘装置试验过程中,所得到的绕线筒上不同圈数所对应的导线器行进距离和棚面卷帘移动距离测量数据绘制的关系曲线与理论计算得到的理想数据曲线进行对比,其结果如图 10 所示。

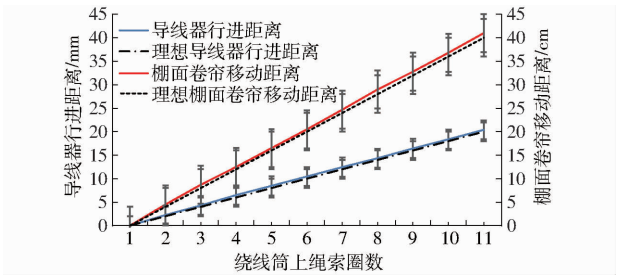


图 10 导线器行进距离、棚面卷帘移动距离与绳索圈数关系曲线

Fig. 10 Relation curves of $X-N$ and $Y-N$

从图 10 中的实际测量数据关系曲线,可以发现导线器行进距离与绕线筒上绳索圈数及棚面卷帘移动距离与绕线筒上绳索圈数都基本满足比例线性关系,表明卷帘装置模型整体运行过程较为平稳,未出现明显的故障,且卷帘整齐,绳索也未出现明显的无序叠线、绕线混乱的作业问题,但是,从以上结果数据中可以观察到,在模型卷帘的前期,绕线筒上出现无序叠线,这也反映在图 10 的 2 条测量数据关系曲线上,在 2 条测量数据关系曲线的前期相比较理想数据曲线,出现误差较大的情况。但无序叠线在后来的卷帘过程中又逐渐消失,出现这样的情况,主要原因有:

由于模型中汇线装置和导线器中所采用的滑轮间槽宽度较大,导致绳索在前期不能受到有效约束,会发生沿滑轮轴向移动的现象,导致绳索无法在导线支架的引导下作水平方向的规则平动,产生较大的偏移,由此产生无序叠线现象,但是,随着卷帘动作的持续,汇线装置和导线器之间的绳索会产生足够的倾斜,绳索在拉力作用下,被限制在滑轮槽的一侧,不再产生无规则轴向滑动,这也解释了导线器行进距离与绳索圈数关系曲线与理想数据的相对误差在不断减小的原因。此类误差在实际生产中也会出现,应尽量避免,绳索牵引装置中的汇线装置及导线器应合理根据牵引绳索直径选择合适长度滑轮槽的滑轮,并在安装时,尽量使绳索处于一个合适的预定倾斜角度,角度也不宜过大防止出现牵引绳索脱离滑轮的现象。除此之外的数据误差,主要来源于模型的制作误差及测量时的测量误差,此类误差也会在实际生产中出现,但由于生产工艺及人为因素产生无法被完全消除,但也应尽量减少。

棚面卷帘移动距离与绳索圈数关系曲线中的误差除了在导线器行进距离与绳索圈数实际测量数据关系曲线中体现的误差产生因素外,其实际测量数据与理论计算理想数据的差异还来源于卷帘被卷起时的厚度变化量,此数据由于卷帘材质多为草帘和纤维被,呈柔软性质的原因,难以被测量和控制,计

算时也往往忽视这种厚度变化。但这种误差会在实际测量数据中体现,同样的此类误差也会在生产实践中出现,但就其结果而言,对卷帘装置的卷帘效果影响较小,往往被忽略不计。

(4) 卷帘性能指标要求

在日光温室卷帘机生产标准方面,目前施行的 NY/T 2205—2012《大棚卷帘机 质量评价技术规范》对于后置固定式卷帘机的卷帘性能指标要求主要为卷、放帘时间方面的要求,其中,规定日光温室跨度 8 m 以下(含 8 m)棚室安装的卷帘机卷、放帘时间要求在 3~8 min 之间;跨度 8 m 以上棚室安装的卷帘机卷、放帘时间要求在 5~12 min 之间^[22]。

基于以上的卷帘模型数据可以得到卷帘装置模型的理论计算卷帘时间为

$$T = \frac{N}{v} = \frac{11.5}{65} = 12.3 \text{ s} \tag{8}$$

式中 v ——绕线筒转速, m/s

通过卷帘装置模型与实际情况进行对比可以得到:真实生产中,会采用 Y132M-6 型电动机,采用蜗轮蜗杆柱减速器输出转速为 4.3 r/min,采用线径为 8 mm 的绳索,直径为 20 cm 的绕线筒,传动比为 1:1 的齿轮传动组和导程为 10 mm 的丝杠,日光温室建筑结构尺寸同比例扩大 12 倍,可得到实际绕线圈数为

$$N' = \frac{2X}{\sqrt{(\pi D_1)^2 + l^2}} = \frac{2 \times 450 \times 12}{\sqrt{(200\pi)^2 + 10^2}} = 17.2 \tag{9}$$

考虑到温室卷帘模型棚面倾斜平面设计,忽略了棚面本身的弧度,所以实际温室棚面长度会比模型棚面比例长度长出约 1/5 的模型棚面比例长度,时间也要延长 20%,由试验过程中的卷、放帘时间数据可以得到温室卷帘模型的卷、放帘的时间误差率,其计算公式为

$$\delta = \frac{T' - T}{T} \times 100\% \tag{10}$$

式中 δ ——时间误差率

T ——温室卷帘模型的理论计算卷、放帘时间

T' ——温室卷帘模型的实际卷、放帘时间

并由此可以推算出真实生产中该温室装置的卷、放帘时间数据,推算公式为

$$t' = t(100\% + \delta)(100\% + 20\%) \tag{11}$$

式中 t ——真实生产中该温室装置理论计算卷、放帘时间

t' ——真实生产中该温室装置实际卷、放帘时间

由比例计算可知,该温室模型对应的真实日光

温室跨度,即棚宽为 7.2 m,由此可知,所设计的改进型日光温室后置固定式卷帘装置需满足卷、放帘时间要求在 3~8 min 之间的性能指标,所推算的真实生产中该温室卷帘装置实际卷、放帘时间数据如表 6 所示。

表 6 推算的卷帘装置生产实际卷、放帘时间
Tab.6 Actual time of coiling and uncoiling device
by calculation min

试验序号	卷帘时间	放帘时间
1	5.051	4.839
2	5.027	4.824
3	5.034	4.866
平均值	5.037	4.843

由表 6 可知,通过计算可以得到其平均卷帘时间为 5.037 min,平均放卷时间为 4.843 min,故由推算可知,在真实生产中,该改进型日光温室后置固定式卷帘装置符合目前施行的 NY/T 2205—2012《大棚卷帘机 质量评价技术规范》中的温室卷帘机卷、放帘时间性能指标要求。

4 结论

(1)在现有后置固定式卷帘机的基础上,设计了改进型温室后置固定式卷帘装置,通过所设计的绳索牵引装置,将绳索牵引至温室后墙体背面地面上的收放线装置上,方便操作、维修,且有效防止牵引绳索发生缠绕交错、产生干涉等现象,设计的收放线装置利用丝杠传动原理,使绳索在相对于绕线筒

在作缠绕转动的同时,还作水平方向的平动,间隔有序缠绕在绕线筒上,避免现有后置固定式卷帘机缠线混乱、无序叠线等作业问题。并且在收放线装置上实现自锁功能,配合所选用蜗轮蜗杆柱齿轮减速机,在实现双重自锁、加强卷帘安全性的同时,可以实现交流电动机和减速机的可拆卸功能,实现一机多用,有效降低生产成本损耗,并配合在卷帘运动上、下限位置安装可拆卸式的行程限位开关,用于实现装置的反馈控制,进一步保证卷帘生产作业安全。

(2)通过实体比例模型卷帘性能对比试验及其结果数据分析,验证所设计的改进型日光温室后置固定式卷帘装置对比现有日光温室后置固定式卷帘机具有更好的卷帘性能,可实现更好的卷帘效果,在改进型卷帘装置原理验证试验中,对从实体模型采集的数据进行数据分析与误差分析,并分析其数据误差来源,除此之外,针对现行的 NY/T 2205—2012《大棚卷帘机 质量评价技术规范》中的卷帘性能指标要求,进行实体模型和实际生产情况验证比对与推算,并由此推断出真实生产中该温室卷帘装置实际卷、放帘时间数据,验证了所设计的改进型日光温室后置固定式卷帘装置符合目前施行的温室卷帘机卷、放帘时间性能指标要求,进一步验证了卷帘装置的实施可行性。该改进型日光温室后置固定式卷帘装置的研究提高了后置固定式卷帘机的适用性,为其更大范围内的推广提供了技术支持,为日光温室作物种植提供更多的生产便利,同时可提高生产效率。

参 考 文 献

1 魏晓明,周长吉,曹楠,等. 中国日光温室结构及性能的演变[J]. 江苏农业学报,2012,28(4):855-860.
WEI Xiaoming, ZHOU Changji, CAO Nan, et al. Evolution of structure and performance of Chinese solar greenhouse[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences,2012,28(4):855-860. (in Chinese)

2 李萍萍,王纪章. 温室环境信息智能化管理研究进展[J]. 农业机械学报,2014,45(4):236-243.
LI Pingping, WANG Jizhang. Research progress of intelligent management for greenhouse environment information[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(4):236-243. (in Chinese)

3 丁小明. 我国日光温室卷帘机技术现状分析[J]. 农机化研究,2011(12):217-222.
DING Xiaoming. Research and development on exterior cover-rolling machine of solar greenhouse in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2011(12):217-222. (in Chinese)

4 赵树朋,么永强,张世芳,等. 日光温室单轴牵引型卷帘机设计[J]. 河北农业大学学报,2002,25(4):94-96,101.
ZHAO Shupeng, YAO Yongqiang, ZHANG Shifang, et al. Design of rolling blinds machine of single axis traction type used in sunlight green house[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2002,25(4):94-96,101. (in Chinese)

5 王勇,刘林,侯加林,等. 智能型日光温室卷帘机的研制[J]. 山东农业科学,2014(5):21-25.
WANG Yong, LIU Lin, HOU Jialin, et al. Development of intelligent rolling machine for solar greenhouse[J]. Shandong Agricultural Sciences,2014(5):21-25. (in Chinese)

6 商稳奇,张晓亮,田金明,等. 卷帘机使用安全调查分析[J]. 中国农机化,2011(3):28-31.
SHANG Wenqi, ZHANG Xiaoliang, TIAN Jinming, et al. Use safety investigation and analyze of rolling machine[J]. Chinese Agricultural Mechanization,2011(3):28-31. (in Chinese)

7 崔保苗,王占文,赵聪慧,等. JL-50 型日光温室卷帘机的设计研究[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2003,23(3):261-264.
CUI Baomiao, WANG Zhanwen, ZHAO Conghui, et al. Designing research of JL-50 type met roller for solar greenhouse[J].

- Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2003,23(3):261–264. (in Chinese)
- 8 高占文. DJL-100 型温室大棚卷帘机设计[J]. 农业科技与装备,2015(1):17–19.
GAO Zhanwen. Design of type DJL-100 rolling blinds machine for greenhouse using[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2015(1):17–19. (in Chinese)
- 9 帕合尔鼎·阿布来提,吴乐天,杨会民,等. JLL-1.5 型卷帘机温光自动控制系统的设计与研究[J]. 中国农机化学报, 2015,36(4):65–68,72.
Pahridin, WU Letian, YANG Huimin, et al. Design and study on temperature-light automatic control system for JLL-1.5 type rolling shade machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015,36(4):65–68,72. (in Chinese)
- 10 王俊衡,李莉,穆永航,等. 日光温室光照强度测量系统研究[J]. 农业机械学报,2015,46(增刊):194–200.
WANG Junheng, LI Li, MU Yonghang, et al. Measurement system of light intensity in solar greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(Supp.):194–200. (in Chinese)
- 11 孙昊,滕光辉,张晓飞,等. 日光温室卷帘机荷载实时测量系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1):138–145.
SUN Hao, TENG Guanghui, ZHANG Xiaofei, et al. Design and test on real-time measurement system of mat roller workload for sunlight greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(1):138–145. (in Chinese)
- 12 孙晓飞. 基于管状电机的卷帘机自动监控系统初探[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- 13 丁小明. 日光温室卷帘机安全隐患分析和预防[J]. 农业工程技术:温室园艺,2011(2):22–24.
- 14 樊庚,滕光辉,孙昊,等. 基于全防护型的上拉式卷帘系统优化[J]. 农业工程,2015,5(增刊1):53–57.
FAN Geng, TENG Guanghui, SUN Hao, et al. Optimize of pull-up shutter system for sun-light greenhouse based on full protection[J]. Agricultural Engineering, 2015,5(Supp.1):53–57. (in Chinese)
- 15 张洪才. 安全型大棚卷帘机[J]. 农业知识:瓜果菜, 2008(8):9.
- 16 程乃士. 减速器与变速器设计与选用手册[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- 17 刘刚. 温室大棚卷帘机的设计[J]. 农业科技与装备,2012(11):29–30,34.
LIU Gang. Design of shutter machine for greenhouse[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment,2012(11):29–30,34. (in Chinese)
- 18 汤天浩. 电机及拖动基础[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- 19 赵明宏. 后置式卷帘机安装使用方法及经济效益分析[J]. 农业科技与装备,2009(3):138–139.
ZHAO Minghong. The installation and analysis on the economic benefits of rear-mounted roll blind machine[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment,2009(3):138–139. (in Chinese)
- 20 王曦. 日光节能温室卷帘机定位关键技术研究[J]. 农产品加工,2016(1):41–43,46.
WANG Xi. Study on the key technology of solar greenhouse shutter position control model[J]. Farm Products Processing, 2016(1):41–43,46. (in Chinese)
- 21 张志刚. 日光温室电动卷帘机行程控制改进设计[J]. 新疆农机化,2011(4):27.
- 22 NY/T 2205—2012 大棚卷帘机 质量评价技术规范[S]. 2012.

(上接第 298 页)

- 19 李腾飞. 笼养蛋鸡健康行为监测机器人系统研究[D]. 北京:中国农业大学, 2016.
LI Tengfei. Study on caged layer health behavior monitoring robot system[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- 20 劳凤丹,滕光辉,李卓,等. 复杂环境中蛋鸡识别及粘连分离方法研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4):213–216,227.
LAO Fengdan, TENG Guanghui, LI Zhuo, et al. Recognition and conglutination separation of individual hens based on machine vision in complex environment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4):213–216,227. (in Chinese)
- 21 温长吉,王生生,于合龙,等. 基于改进蜂群算法优化神经网络的玉米病害图像分割[J]. 农业工程学报, 2013,29(13):142–149.
WEN Changji, WANG Shengsheng, YU Helong, et al. Image segmentation method for maize diseases based on pulse coupled neural net work with modified artificial bee algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2013,29(13):142–149. (in Chinese)
- 22 任守纲,陆海飞,袁培森,等. 基于显著性检测的黄瓜叶部病害图像分割算法[J]. 农业机械学报,2016,47(9):11–16.
REN Shougang, LU Haifei, YUAN Peisen, et al. Segmentation algorithm of cucumber leaf disease image based on saliency detection[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(9):11–16. (in Chinese)