

# 新型温室除雪机在农业温室中的应用研究

郝志勇,邓作鹏,刘 伟,袁 帅

(辽宁工程技术大学 机械工程学院,辽宁 阜新 123000)

**摘要:**冬季北方地区温室屋面除雪是农业部门研究的热点问题之一,为解决屋面积雪压塌温室这一问题,设计了一种新型温室除雪机,并对其除雪机构、输送机构及功率消耗进行了理论计算和试验验证。研究表明:采用硬质毛刷和螺旋机构制成的除雪机,适合清扫屋面的较厚积雪,减小了除雪过程中的阻力,降低了农民的劳动强度。理论分析和样机试验较吻合。试验表明,整机结构合理,具有很好的除雪效果,达到了预期设计目标。

**关键词:**温室屋面;除雪机;毛刷;螺旋输送

**中图分类号:**TH12

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2012)01-0128-05

在我国北方地区,尤其是东北部,冬季温室积雪影响屋面的透光性和保温性<sup>[1]</sup>,不利于喜阳植物的生长,且影响温室的总体强度和刚度。目前农业温室除雪多为手工作业,据相关数据显示,对于一个 150 m 长的温室,除雪工作需要 5 个人花费 3~4 h 才能完成。除雪时间较长,不仅会造成其它屋面积雪清扫的延迟,还会影响到温室草帘的快速卷起,减少了农作物正常的光照时间<sup>[2]</sup>,影响农作物生长。更重要的是白天光照时间短,会造成晚上棚内温度继续降低,蔬菜生长缓慢或有被冻死的可能,造成直接或间接的经济损失。

对于小雪或薄雪,手工作业基本可以应对;若突遇大雪和暴雪,手工清扫屋面上的积雪,不仅劳动强度大,而且除雪效率低,除雪时间长,如果除雪不及时,温室有被压塌的危险。目前温室屋面除雪有的采用热水融雪管<sup>[3]</sup>,但是投资和运行费用均比较高;整体输送式温室屋面除雪装置,制造成本较高,不适合多个相邻温室屋面的除雪,不易于推广应用,现有的机械化温室除雪装置有利用空气迅速流动的原理进行除雪<sup>[4]</sup>,存在效率低、噪音大、机械结构复杂等缺点,应用范围有限。针对尚未出现高效的温室除雪装置的现状,设计了一款新型温室除雪机,样机试验效果良好,为温室屋面除雪提供了一种有效的低运行费用除雪设备<sup>[5]</sup>。

## 1 温室除雪机的工作原理及组成

### 1.1 温室除雪机的工作原理

新型温室除雪机安装在农用行走机械之上,利用车载液压马达驱动顶部执行机构和底部执行机构进行工作。顶部执行机构用于清扫温室屋面积雪,并将其输送到温室外侧底部,底部执行机构将其输送到田间合适位置<sup>[6]</sup>。

由于新型温室除雪机在田间相邻温室之间作业,受实际作业环境限制,因此温室除雪机的高度和宽度等都有明确要求,其具体设计要求:能在田间道路上行驶自如,能将温室顶部积雪清扫干净,且能使温室底部积雪搬运到合适位置;可实现全自动化,操作简便,整个除雪过程一人即可完成。

### 1.2 温室除雪机的结构组成

根据温室除雪机的工作原理、功能实现和控制要求,其主要组成部分为:顶部执行机构、底部执行机构、车体、控制部分、伸缩装置等。具体组成部分见图 1。

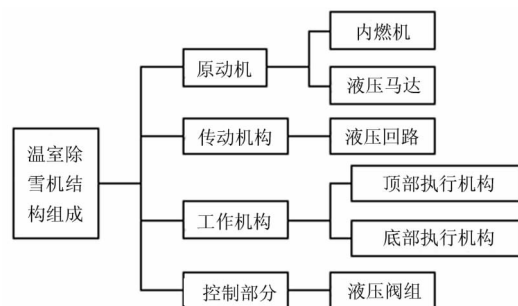


图 1 温室除雪机组成

Fig. 1 Constitute of greenhouse snow blower

收稿日期:2011-08-02

第一作者简介:郝志勇(1979-),男,山西省代县人,博士,讲师,从事机械结构力学分析、机械优化设计等方面的教学和科研工作。E-mail:chinaren\_1314@126.com。

## 2 温室除雪机结构设计

温室除雪机主要分为两部分,分别用来清扫温室顶部和底部积雪。具体设计参数由温室结构及其所在田间位置而定。该文所设计的温室除雪机是根据阜新农村常用的温室结构而设计的。

### 2.1 顶部执行机构设计

由图 2 可知,顶部执行机构采用螺旋分布式硬质毛刷,共有 5 段,每段毛刷固定在各自驱动轴上,轴之间采用联轴器相连,保证动力传递。毛刷支撑架用来支撑毛刷及其驱动轴,毛刷支撑架分为 4 段,每段之间用销轴连接。每段清扫机构都作用在支持轮上,为了减少对温室屋面的压力,采用 6 个支撑轮。北方地区冬季温室屋面上都有草帘覆盖,为避免除雪过程中,旋转毛刷卷起草帘,采用压帘杆以防止草帘被卷起。

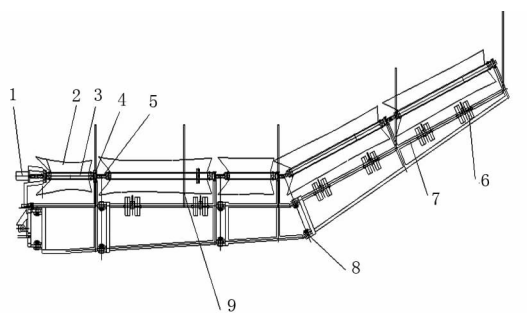


图 2 顶部执行机构

Fig. 2 Top actuating mechanism

1. 液压马达;2. 毛刷;3. 毛刷轴;4. 轴承;5. 联轴器;6. 支撑轮;7. 毛刷支撑架;8. 连接销;9. 压帘杆

1. Hydraulic motor; 2. Hairbrush; 3. Axis of hairbrush; 4. Bearing; 5. Coupling; 6. Supporting wheel; 7. Support frame of hairbrush; 8. Connecting pin; 9. Pressure shade lever

为减轻顶部执行机构重量和降低能耗,毛刷材料选用中等强度的硬质塑料制成,呈细长圆柱状。毛刷轴采用中空钢管,不仅保证了强度和刚度,而且减轻了重量。毛刷支撑架全部采用高强度铝合金制成,支撑轮采用复合橡胶轮(见图 3)。

### 2.2 底部执行机构设计

温室除雪机底部采用异形螺旋清扫机构,用于把积雪输送到田间合适位置(见图 4)。

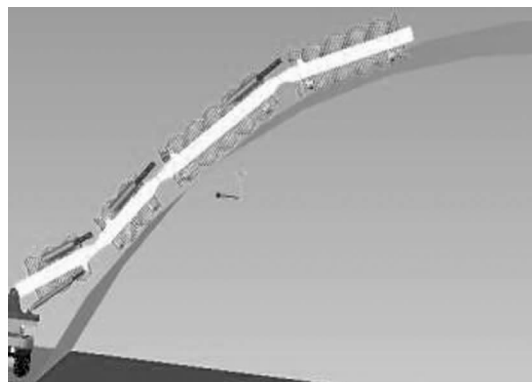


图 3 顶部执行机构总图

Fig. 3 General drawing of top actuating mechanism

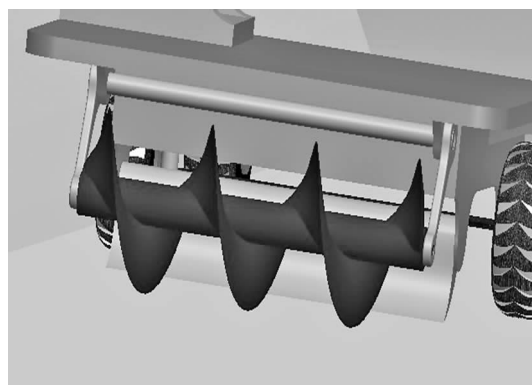


图 4 底部执行机构总图

Fig. 4 General drawing of bottom actuating mechanism

### 2.3 整体结构组成

温室除雪机整体结构分为两种:即活动安装和固定安装。活动安装将执行机构固定在农用行走机械上;固定安装根据温室结构重新设计行走机构,并与其它执行机构组合成一体。限于篇幅,只给出活动安装结构示意图(见图 5,图 6)。

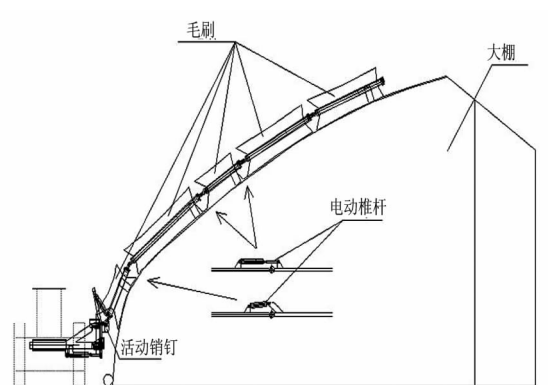


图 5 活动安装整机结构

Fig. 5 Schematic diagram of the whole installation activities

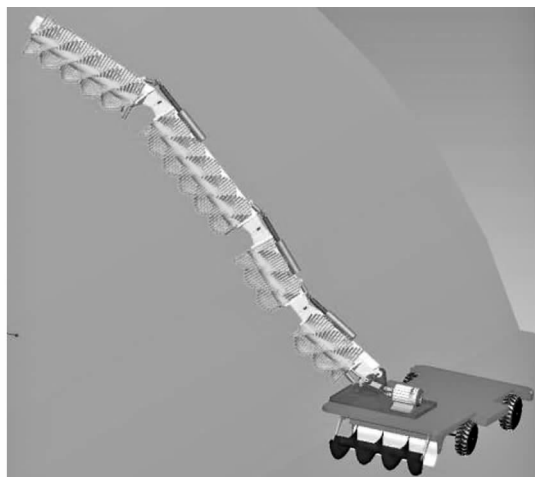


图 6 活动安装样机整体模型

Fig. 6 Prototype model of the whole installation activities

### 3 除雪机功耗计算

### 3.1 顶部执行机构功率计算

3.1.1 克服毛刷和草帘间摩擦力所需功率 毛刷与温室屋面挤压力  $N$  可表示<sup>[7]</sup>为:

$$N=5.3\times100\times d\times\left(\frac{EJ}{I}\right)^2\times h^{\frac{1}{3}}\times Z_B\times[1+0.18\times(v_m-2)]\times\arccos\left(1-\frac{h}{R_w}\right) \quad (1)$$

式中:  $d$  为毛刷直径(m),  $R_m$  为滚刷半径(m),  $I$  为毛刷自由长度(m),  $E$  为毛刷弹性模量(Pa),  $J$  为毛刷断面惯性矩( $\text{m}^4$ ),  $h$  为毛刷变形量(m),  $Z_B$  为工作毛刷数量。

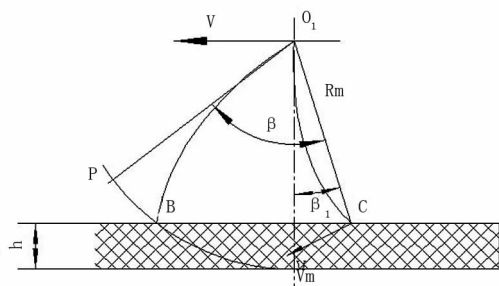


图 7 毛刷除雪工作原理图

Fig. 7 Prototype model of the whole installation activities

$$\text{因为, } \beta = 2.6\beta_1 = \arccos \frac{R_m - h}{R_m} \quad (2)$$

所以工作毛刷数量  $Z_B$  可按公式(3)选取。

$$Z_B = \frac{5.5B}{d\beta_1 v_m/v} \quad (3)$$

式中:  $B$  为刷滚清扫宽度(m),  $v$  为机器工作

速度( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $v_m$  为刷滚圆周速度( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )。

毛刷和溫室表面的摩擦力為  $f = \mu_1 N$ 。

式中： $\mu_1$  为毛刷与温室屋面草帘间的摩擦系数。

克服毛刷和温室草帘间摩擦力所需功率为  $P_1$ 。

$$P_1 = \frac{f \times (v + v_m)}{1000\eta} \quad (4)$$

式中： $\eta$  为摩擦损失效率。

### 3.1.2 毛刷变形消耗功率 $P_2$ 计算

$$P_2 = 0.26 \times 10^{-7} \times Z_B \times \frac{n^{\frac{3}{2}}}{d} \times \sqrt{h} \times \frac{EJ}{L} \times \varphi \quad (5)$$

式中： $\varphi$  为摩擦角， $n$  为刷滚转速。

$$\varphi = \arcsin \frac{(R_m - h) \sqrt{3(2R_m h - h^2)}}{R_m(R_m - 2)}$$

3.1.3 克服空气阻力所消耗功率 克服空气阻力所消耗功率  $P_3$  由式(6)确定。

$$P_3 = 0.01P_1 \quad (6)$$

根据以上分析和实际条件,确定其中的设计变量为:  $d = 0.001 \text{ m}$ ,  $R_m = 0.4 \text{ m}$ ,  $I = 0.15 \text{ m}$ ,  $E = 7 \times 10^{10} \text{ Pa}$ ,  $J = 4.91 \times 10^{-14} \text{ m}^4$ ,  $h = 0.01 \text{ m}$ ;  $B = 7 \text{ m}$ ,  $v = 0.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $v_m = 16.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $n = 71 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\mu_1 = 0.5$ ,  $\eta = 0.7$

根据以上参数,由给出的公式可以计算出各参数值:

$$Z_B = 149\,589, \beta = 0.22, \beta_1 = 0.086, N = 9.5\,\text{N}, f = 4.75\,\text{N}, P_1 = 1.5\,\text{kW}, P_2 = 0.75\,\text{kW}, P_3 = 0.15\,\text{kW}.$$

驱动顶部执行机构所需的功率  $P$  为:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 1.5 + 0.75 + 0.15 = 2.4 \text{ kW}$$

### 3.2 底部执行机构功率计算

3.2.1 螺旋机构参数计算 根据实际工作需要设计螺旋机构,其主要参数见图 8<sup>[8]</sup>。

螺旋面展开图圆环内径  $d_i$  :

$$d_l = \frac{\sqrt{(\pi d)^2 + s^2}}{\sqrt{(\pi D)^2 + s^2} - \sqrt{((\pi d)^2 + s^2)}} (D - d)$$

螺旋面展开图圆环外径  $D_l$  :

$$D_l = \frac{\sqrt{(\pi D)^2 + s^2}}{\sqrt{((\pi D)^2 + s^2)} - \sqrt{(\pi l)^2 + s^2}} (D - d)$$

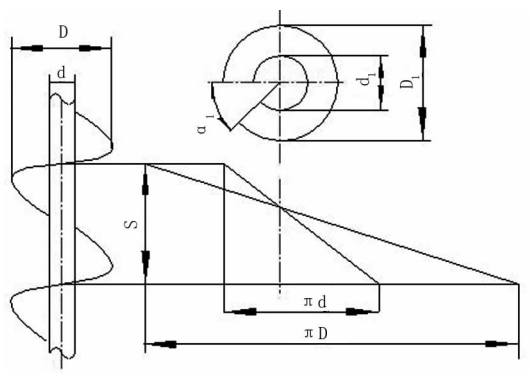


图8 螺旋机构结构简图

Fig. 8 Screw mechanism structure diagram

展开圆环切除部分的圆心角  $\alpha_l$  :

$$\alpha_l = \frac{\pi D_l - \sqrt{(\pi D)^2 + s^2}}{\pi D_l} \times 360^\circ$$

其中:  $d$  为螺旋轴直径(mm)。

根据实际情况和工作需要,设计参数为:

$$D = 400 \text{ mm}, d = 25 \text{ mm}, s = 340 \text{ mm}$$

其中螺旋叶片厚度为 2 mm。

由此计算可得:  $d_l = 145.91 \text{ mm}$

$$D_l = 505 \text{ mm}, \alpha_l = 64.28^\circ$$

3.2.2 螺旋机构输送量的确定 螺旋机构输送量可按公式(7)计算<sup>[7]</sup>。

$$Q = 60\Psi \cdot \beta_0 \cdot k \cdot r \cdot n \cdot D^3 \quad (7)$$

式中:  $Q$  为输送量( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $\Psi$  为物料填充系数,  $\beta_0$  为倾斜系数,  $k$  为螺距与直径比例系数,  $r$  为物料容重( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $n$  为转速( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $D$  为螺旋直径(m)。

通过查手册,各个变量取值为:

$$\Psi = 0.45, \beta_0 = 0.75, k = 0.89, r = 0.5$$

$$n = 71, D = 0.4. \text{ 经计算可得 } Q = 23.49 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}.$$

3.2.3 螺旋机构消耗功率计算

$$P_1 = \frac{QL\mu}{367}$$

$P_1$  为克服运行阻力所需的功率(kW),  $L$  为输送长度(m),  $Q$  为输送机的输送量( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $\mu$  为雪运行阻力系数,取 1.5。

取  $L = 4 \sim 6 \text{ m}$  算得,  $P_1 = 1.87 \text{ kW}$ 。

$$\text{空载运行功率 } P_2 = \frac{DL}{20} = 0.12 \text{ kW}.$$

因此驱动底部执行机构所需功率为:

$$P = P_1 + P_2 = 0.12 + 1.87 = 1.99 \text{ kW}$$

#### 4 控制系统

除雪机整体采用电液控制系统。顶部执行机构由液压马达驱动毛刷轴旋转,由电动推杆控制顶部机构的工作位置;底部工作机构由液压马达驱动,利用油缸控制其实际工作位置。整个除雪机的操控都在驾驶室内完成。

#### 5 样机试验

根据相似理论,按照一定比例研制了一小型样机。冬季雪花暂时用相似材料替代。整个除雪机样机完全按照实际要求进行设计和加工,由于样机空间的限制,其操控在样机中用遥控手柄进行控制。



图9 除雪机准备状态

Fig. 9 Snow machine readiness

1:螺旋毛刷组件;2:支撑部组件;3:行走车体;4:底部除雪组件;5:温室屋面

1:Spiral brush assembly;2:Support assembly;3:Walking body;4:The bottom of the snow component;5:Greenhouse roof



图10 除雪机工作状态

Fig. 10 Snow machine working condition



图 11 温室扫雪后

Fig. 11 Greenhouse after snow removing

## 6 结论

从理论计算和样机制作对温室除雪机工作原理、结构性能进行了分析和试验。通过样机实际除雪工作,验证了理论计算和分析的合理性,可得出:(1)所设计的温室除雪机结构合理,操作简便;(2)除雪机互换性好,可以非常方便地安装到农行走机械上进行除雪工作。(3)除雪机工作效率

较高,驱动系统简单,小型原动机可满足实际工作需求。(4)通过实际工作和测试各种试验数据,证明该新型温室除雪机除雪效果明显,除雪效率高,具有很大的实际应用价值。

### 参考文献:

- [1] 王健,王钢,林敬东.我国除雪机械现状及发展趋势[J].呼伦贝尔学院学报,2005,13(2):123-125.
- [2] 王有为,牟乐,陆程.浅谈我国除雪机械的发展及在除雪工作中的应用[J].北方交通,2009(7):45-48.
- [3] 周增产,王纲,田真,等.整体输送式温室屋面除雪装置[J].农业机械学报,2005,36(5):79-83.
- [4] 刘佩军.中国东北地区农业机械化发展研究[D].长春:吉林大学,2007(5):36-40.
- [5] 余克强,王双喜.我国温室屋面除雪的研究现状与趋势[J].农机化研究,2011(7):28-36.
- [6] 于海业,马成林,陈晓光.发达国家温室设施自动化研究的现状[J].农业工程学报,1997,13(S1):253-257.
- [7] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [8] 孙恒,陈作模,葛文杰.机械原理[M].北京:高等教育出版社,2006.

## Research on the Application of New Greenhouse Snow Blower in Agricultural Greenhouse

HAO Zhi-yong, DENG Zuo-peng, LIU Wei, YUAN Shuai

(Mechanical Engineering College of Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

**Abstract:** In the winter, the greenhouse roof's snow removing in the northern region is one of the hot research issues of the agriculture department, to solve the problem of the snow collapsing the greenhouse roof, a kind of new greenhouse snow blower was designed, and its theoretical calculation and experimental verification were conducted on the snow blower mechanism, convey mechanism and power consumption. It showed that the snow blower with hard brush and screw mechanism was appropriate for cleaning thicker snow, reducing the resistance of snow blower process, and decreasing the labor intensity of the farmers. The theoretical analysis and the prototype test were identical. It concluded that the structure of snow blower was reasonable, the effect was good, it achieved the anticipated design goal.

**Key words:** greenhouse roof; snow blower; brush; screw conveyor

欢迎加盟协办单位、理事会