[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.05.016

田间残膜压缩打包装置及其关键技术

李伟平[1]，张新昌[1,2]

（1.江南大学 机械工程学院，江苏 无锡 214122；
2.江南大学 江苏省现代食品加工装备重点实验室，江苏 无锡 213122）

摘 要：针对残膜回收后田间焚烧既污染大气环境又破坏土壤生态，松散状态下运输效率低，易随风飘落，造成二次污染等问题，笔者提出了残膜打包处理方案。基于传统打包技术，根据残膜特性，设计了一种田间残膜压缩打包装置，作为残膜捡拾机的配套装置，通过液压压缩机构和穿针式打捆系统实现了残膜的田间压缩与打包作业。开发设计的残膜压缩打包装置简单可靠，使用方便，生产效率适应作业需求，能够有效缩小残膜体积，提高残膜储运效率，同时还便于残膜回收利用的后续处理。

关 键 词：包装机械；残膜压缩打包装置；压缩机构；穿针式打捆系统

中图分类号：S224　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005-2895(2017)05-0070-06

Research on Residual Film Compression and Packaging Device and Key Technology

LI Weiping[1], ZHANG Xinchang[1,2]

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;
2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Modern Food Processing Equipment, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 213122, China)

Abstract: The burning of residual film in the field not only pollutes the atmosphere, but also destroys the soil ecology. Due to the residual film is light and debris, it is easy for film of flying during the process of storage and transportation. It causes serious second pollution. In order to solve the problem, the paper put forward a plan for the packing of the residual film. Based on the traditional packaging technology, according to the characteristics of the residual film, a field residual film compression packaging device was designed. As a supporting device of residual film collecting machine, it completed the compression and packing operation of the residual film by the hydraulic compression mechanism and needle type bundling system. The design and development of the residual film compression packaging device is simple and reliable, easy to use, production efficiency meet the operational needs. It can effectively reduce the residual film volume, improve the efficiency of storage and transportation. Meanwhile, it can facilitate the subsequent treatment of residual film recycling.

Keywords: packaging machinery; residual film compression packing device; hydraulic compression mechanism; needle type bundling system

农用地膜的主要原料为低密度聚乙烯(LDPE)和线性低密度聚乙烯(LLDPE)等。其化学性质极其稳定，不易通过光、酶、细菌或其他途径降解。一般情况下，残膜可在土壤中存留200～400 a。正如马少辉等实地调查所述，在新疆的南疆棉区残膜残留量平均为184.5±92.7 kg/hm^2，而北疆棉区残留量平均为282.3±116.3 kg/hm^2。同时实验得出残膜的垂直分布情况，土壤深度0～100 mm残膜量占37.2%，土壤深度

收稿日期：2017-02-12；**修回日期**：2017-04-12

第一作者简介：李伟平(1991)，男，布朗族，云南保山人，硕士研究生，主要研究方向为包装机械设备、包装技术与工程。E-mail：onlydocin@163.com

100~200 mm 残膜量占 34.9%,土壤深度 200~300 mm 残膜量占 27.9%[1]。随着覆膜种植的年限增加,田间的塑料农膜废弃物逐年增多,将造成地膜对土壤的永久性污染。

目前,田间残膜主要有人工和机械回收 2 种回收方式,回收之后最常用的处理方式是随意放置在田间进行集堆焚烧或在松散状态下进行运输。残膜田间焚烧既污染大气环境又破坏土壤生态[2-4],更是对资源的一种浪费,并且由于残膜密度小,碎片多,集堆后或运输过程中的残膜很容易随风飘荡,造成严重的二次污染。而且松散状态下的残膜在运输过程中会占用大量的运输空间,增加运输成本,大大降低了残膜回收的经济性。因此,有必要对回收的残膜进行打包处理,以便于堆放与运输。

课题组基于蒋永新等开发设计的 4JSM-1800 型棉秸秆还田及残膜回收联合作业机,设计了一种残膜压缩打包装置,对回收的残膜进行压缩及打捆,以解决残膜储存和运输过程中的二次污染以及运输效率低,经济性差等问题。4JSM-1800 型棉秸秆还田及残膜回收联合作业机残膜回收率达 83%,能满足对土壤地表层下 50 mm 耕层内残膜的捡拾要求,工作效率为 0.75 hm^2/h[5]。

1　残膜压缩打包工艺方案研究

1.1　残膜捆形状的确定

根据现有类似的打包或打捆技术,捆包形状主要有圆柱形捆和方形捆 2 种。在对残膜特性、打包方案、贮藏运输方式及后期利用等方面进行综合考虑后发现方形捆打捆方式比较适用于本设计。故在文中,将成型后的残膜捆包形状确定为方形。4JSM-1800 型棉秸秆还田及残膜回收联合作业机工作的区域属于北疆地区,该地区 0~50 mm 耕层内的残膜残留量为 282.3×37.2%×1/2≈52.5 kg/hm^2。再根据该基础机型残膜回收率为 83%,计算可得该基础机型每公顷回收残膜的量约为 43.6 kg。将每捆质量设定为 45 kg,尺寸定为 700 mm×600 mm×650 mm(长×宽×高),故计算得出残膜捆密度应控制在 164.84 kg/m^3左右。

1.2　压缩打包工艺方案的确定

考虑到作业条件、残膜特性及经济效益等因素,笔者将压缩打包工作方式确定为由液压作为主动力源的间歇式压缩打包形式。再根据材料不同设计的打包工艺方案如图 1 所示。

文中打包方式确定为打包绳捆扎。对压缩打包方式进行了设计,装置基本构造如图 2 所示。

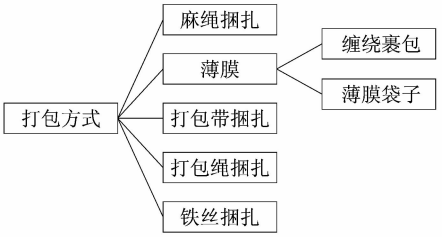
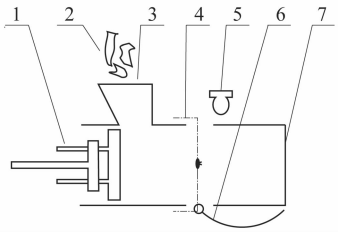


图 1　打包工艺方案

Figure 1　Packing process plan



1—压缩机构;2—残膜;3—压缩腔腔体;4—打包绳;5—打结机构;6—穿针式送线机构;7—压缩腔腔门。

图 2　残膜压缩打包装置简图

Figure 2　Sketch of residual film compression and packing device

2　整机结构与工作原理

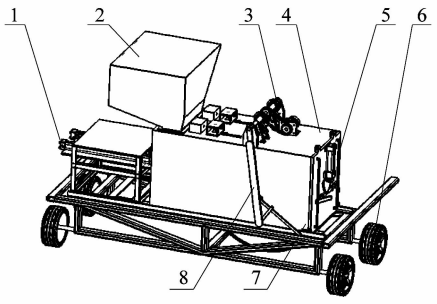
残膜压缩打包装置布置于 4JSM-1800 型棉秸秆还田及残膜回收联合作业机后方。根据基础机型的工作效率为 0.75 hm^2/h 可得,每 80 min 才能收集好一捆所需的残膜量,故残膜压缩打包装置的工作效率即 80 min/捆,按照 8 h/d 工作制来算,每天可完成残膜 6 捆。参考其他类似机型,估算残膜打包装置本身完成一个工作循环的时间是 4 min 左右。

2.1　整机结构

田间残膜压缩打包装置由地轮、机架、传动系统、控制系统、动力系统、残膜压缩机构、压缩腔、穿针式送线机构和打结机构组成,整机如图 3 所示。其中,残膜压缩机构由液压缸(3 个)、液压活塞以及液压缸固定板组成;压缩腔由残膜送入口、压缩腔体、压缩腔门、线材预定位机构及腔门开闭锁紧机构组成;穿针式送线机构由穿针摆杆、穿针摆杆连接杆及穿针摆杆驱动曲柄组成;打结机构由供线机构、D 型打结器、打结器驱动盘及打结器固定架液压马达组成。

2.2　工作原理

残膜压缩打包装置的机架联结于由拖拉机牵引行进的残膜回收机之后,拖拉机动力输出轴通过万向节将动力传输给残膜回收机。同时拖拉机液压泵驱动残



1—压缩机构;2—残膜送入口;3—打结机构;4—压缩腔;5—线材预定位机构;6—地轮;7—腔门锁紧机构;8—穿针式送线机构。

图 3 压缩打包装置整机结构

Figure 3 Structure of compression and packing device

膜压缩打包装置上的各个液压缸以及液压马达进行动作。首先,残膜压缩机构将两根打结在一起的线材推至线材预定位机构处将线材预定位,随后归位,各机构准备就绪。残膜回收机从田间收集地膜之后通过残膜送入口送入压缩腔腔体。根据高玉新等的研究,干燥残膜在自然状态下的堆密度为 12 ~ 31 kg/m^3[6]。考虑到田间残膜中夹杂砂土、泥巴、少量的化肥及农药,设定田间残膜在自然状态下的堆密度为 28 kg/m^3,计算可得 45 kg 的残膜在自然状态下的体积为 45 ÷ 28 ≈ 1.6 m^3。而最终方捆尺寸需为 0.70 m × 0.60 m × 0.65 m,故可得残膜的压缩比为 1.6∶(0.7 × 0.6 × 0.65) = 5.86∶1,近似取残膜压缩比为 6∶1。在残膜送入的过程中,先后约需要进行 4 次压缩 - 退回循环动作。待压缩腔腔体内储存的残膜达到单个捆包量之后,残膜压缩机构将残膜进行最后一次压缩,然后部分退回,为穿针式送线机构留出动作空间,压缩工作完成。线材预定位机构松开预先定位的线材,穿针式送线机构从底部将打包绳送至打结机构中的打结器处进行打结和剪断,随后穿针式送线机构归位,残膜压缩机构再次动作,推动残膜方捆顶开由弹簧锁紧机构锁紧的压缩腔腔门并继续推动,将残膜方捆推出压缩腔,直至残膜方捆掉落。此时腔门归位,与残膜压缩机构配合,通过线材预定位机构将下一轮作业所需的线材进行预定位,最后是残膜压缩机构归位。所有机构归位后一个作业循环完成。

3 主要部件设计

3.1 残膜压缩系统

设计中的残膜压缩采用闭式压缩方式,即在物料喂入完成之后,再对物料进行压缩,并且压缩一个循环,卸料一次,属断续作业。[7] 残膜压成捆后在压捆腔内不移动,每次压缩之间没有关系。

3.1.1 压缩机构的主要参数

1) 压捆尺寸、捆型要求

为保证工作效率、运输效率和满足残膜回收利用方式要求,设定压缩残膜物料的成捆尺寸为方捆 700 mm × 600 mm × 650 mm(长 × 宽 × 高)。

2) 压缩机构与其相关机构的协同运动

压缩机构与穿针打结机构和压缩腔门锁紧机构的运动必须协调一致。一方面,压缩活塞在对方捆进行压缩工作完成之后需马上退回,而此时穿针式摆杆机构要在被压缩残膜未发生体积膨胀或者膨胀较小时,立刻将线材送到打结机构,完成打结工作,保证打捆效果。另一方面,在压缩过程中,压缩密度很大一部分取决于压缩腔腔门锁紧机构中弹簧的拉力。待压缩结束之后,加大活塞推力,通过压缩活塞推动残膜捆顶开腔门,此时压缩力应该大于弹簧拉力。

3) 压缩活塞工作压力

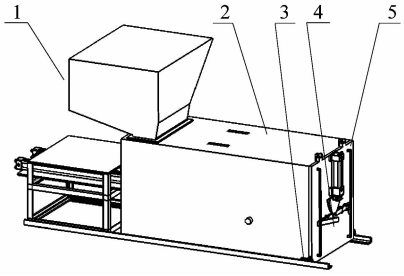
压缩活塞要能够提供足够的压缩力,使压捆产品达到所需的密度。在压缩机构允许的条件下压缩力越大越好,但是压缩力增大,结构的强度与刚度要求也要提高。根据活塞比压与物料容积密度的关系,压捆工作压力一般为 0.5 MPa 以下,此时压缩产品的最终理论密度能够达 350 ~ 400 kg/m^3。所以压缩活塞至少能够保证为压缩物料提供最大 0.5 MPa 的压缩力[8]。在本设计中,按照每一亩地残膜收集量 40 ~ 59 kg 以及方捆尺寸计算得出残膜方捆密度在 146.5 ~ 183.2 kg/m^{3}之间。再根据残膜收集作业的实际情况,设定残膜压缩比为 4∶1。由于各个残膜小碎片之间距离较大,且残膜质软,残膜材料的密度大致为 0.91 ~ 0.96 g/cm^3,因此,较小的压缩力即能符合工作需求,根据经验以及液压系统情况,选定工作压力为 0.05 MPa。

4) 压缩频率的设定

在保证喂入量的情况下,提高压缩活塞的压缩频率,可以提高生产率。但随着压缩频率的提高,机构的冲击和振动将加剧。压缩活塞动作速度过慢,不仅会导致生产率降低,还会影响与之配合的打捆动作效果。根据拖拉机工作速度、残膜回收机回收速度以及残膜压缩打包装置工作效率,再参考实际工况参数,设计中设定活塞压缩频率为 0.25 次/min,约合 4 min/次。

3.1.2 压缩系统设计

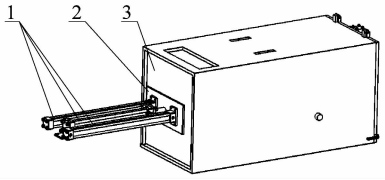
残膜压缩系统主要由压缩腔和残膜压缩机构两部分组成。压缩腔的构造如图 4 所示;残膜压缩机构的构造如图 5 所示。



1—残膜供给口;2—压缩腔体;3—腔门锁紧装置;
4—线材预定位机构;5—压缩腔门。

图 4　压缩腔的构造

Figure 4　Structure of compression cavity

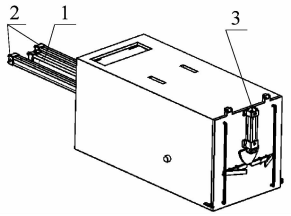


1—液压缸;2—液压缸固定板;3—活塞板。

图 5　残膜压缩机构的构造

Figure 5　Structure of residual film compression mechanism

残膜压缩系统共包括 4 个液压缸,3 个位于残膜压缩机构上,分别是 1 个一级液压缸 1 和 2 个二级液压缸 2,用于残膜的压缩成捆以及残膜捆的推出;剩下的 1 个预定位液压缸 3 位于线材预定位机构上,控制卡绳钩的运动,实现对线材的固定与释放。压缩系统液压缸位置如图 6 所示。



1—二级液压缸;2——一级液压缸;3—线材预定位液压缸。

图 6　压缩系统液压缸位置示意

Figure 6　Hydraulic cylinder position of compression system

压缩腔体的 4 个内表面,压缩腔门的内表面以及残膜压缩机构上的活塞板共同构成封闭的压缩空间,封闭压缩空间如图 7 所示,对残膜进行压缩作业。

残膜由残膜供给口进入压缩腔体,待压缩腔体内的残膜达到一定量之后,启动残膜压缩机构上的一级与二级液压缸,将压缩腔体内已有的残膜推至指定位置;压缩机构返回初始位置,继续送入残膜,待残膜送入量达到预定值时,启动残膜压缩机构上的一级与二级液压缸,通过活塞板将残膜压缩成预定形状;二级液压缸带动活塞板缩回至初始位置。此时,线材预定位机构上的液压缸动作,放开预定位的线材,紧接着穿针式送线机构动作,与打结机构配合,完成打结动作。最后,一级和二级液压缸再次启动,通过活塞板将打包完成的残膜捆推出腔门,掉落田间。与此同时,待残膜捆掉落后,腔门在重力作用下归位,通过腔门上的线材预定位机构与活塞板配合,完成下一轮的线材预定位工作。之后,残膜压缩机构归位,压缩动作进入下一轮准备阶段。

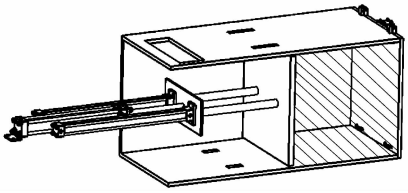
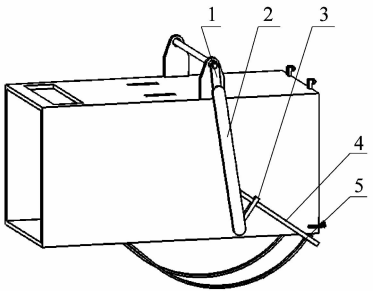


图 7　封闭压缩空间示意图

Figure 7　Closed compression space

3.2　穿针式送线机构

穿针式送线机构实体模型如图 8 所示。



1—曲柄;2—连接杆;3—摆杆连接杆;4—穿针杆固定杆;5—穿针杆。

图 8　穿针式送线机构构造图

Figure 8　Structure of wire feeding mechanism

根据其运动规律,绘制穿针杆及相连摆杆的运动轨迹,如图 9 所示。

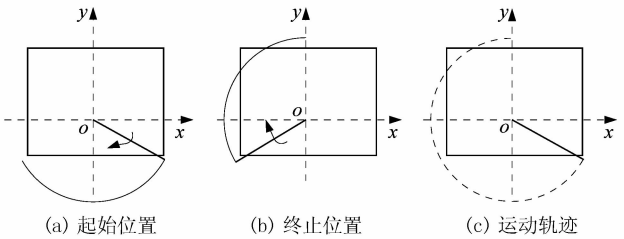


图 9　穿针式送线机构运动示意图

Figure 9　Motion sketch of wire feeding mechanism

带动穿针杆运动的是一根以 D 为一端固定点的摆杆,摆杆通过连接杆与曲柄相连,实现穿针杆所需要的动作。摆杆 CD、连接杆 BC、曲柄 AB 以及机架 AD 构成了一组四杆机构—曲柄摆杆机构 $ABCD$,如图 10 所示。

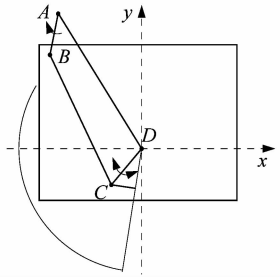


图 10 穿针四杆机构

Figure 10 Four bar mechanism of pin rod

根据穿针式送线机构所需的运动轨迹,确定了两连架杆的对应位置。按照平面四杆机构设计法中的“按预定运动规律设计法”进行设计。如图 11 所示,假设要求从动件 3 与主动件 1 的转角之间满足一系列的对应位置关系,即

$$\theta_{3i}=f(\theta_{1i}),i=1,2,\cdots,n,$$

试设计此四杆机构。

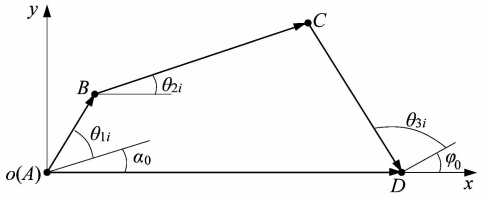


图 11 四杆机构设计原理示意图

Figure 11 Sketch of design principle of four bar mechanism

图 11 中,运动变量为机构的转角 θ_{1i},θ_{2i}和 θ_{3i},由设计要求知 θ_{1i},θ_{3i}为已知条件,仅 θ_{2i}为未知。

又因机构按比例放大或缩小,不会改变各机构的相对转角关系,故设计变量应为各构件的相对长度,如取

$$a/a=1,$$
$$b/a=l,$$
$$c/a=m,$$
$$d/a=n。$$

故设计变量为 l,m,n 以及 θ_{1i},θ_{3i}的计量起始角 α_0,φ_0 共 5 个,图 11 中四杆机构中 a 为曲柄 AB 长度,b 为连杆 BC 长度,c 为摆杆 CD 长度,d 为机架 OD 长度。

如图 11 所建立坐标系 oxy,并把各杆失向坐标轴投影,可得

$$\left.\begin{aligned}&l\cos\theta_{2i}=n+m\cos(\theta_{3i}+\varphi_0)-\cos(\theta_{1i}+\alpha_0);\\&l\sin\theta_{2i}=m\sin(\theta_{3i}+\varphi_0)-\sin(\theta_{1i}+\alpha_0)。\end{aligned}\right\}\tag{1}$$

消去未知角 θ_{2i},令

$$P_0=m;$$
$$P_1=-m/n;$$
$$P_2=(m^2+n^2+1-l^2)/2n。$$

将公式(1)简化为

$$\left.\begin{aligned}&\cos(\theta_{1i}+\alpha_0)=P_0\cos(\theta_{3i}+\varphi_0)+\\&P_1\cos(\theta_{3i}+\varphi_0-\theta_{1i}-\alpha_0)+P_2;\\&\sin(\theta_{1i}+\alpha_0)=P_0\sin(\theta_{3i}+\varphi_0)+\\&P_1\sin(\theta_{3i}+\varphi_0-\theta_{1i}-\alpha_0)+P_2。\end{aligned}\right\}$$

式中包含 5 个待定参数 P_0,P_1,P_2,α_0 及 φ_0,故四杆机构最大可按两连架杆的 5 个对应位置精确求解。

当两连架杆的对应位置数 $N>5$ 时,一般不能求得精确解,此时可用最小二乘法等进行近似设计。当要求的两连架杆对应位置数 $N<5$ 时,可预选 $N_0=5-N$ 个尺度参数,此时有无穷多解[9]。

根据上述设计方法,穿针式送线机构构建所得的四杆机构如图 12 所示。

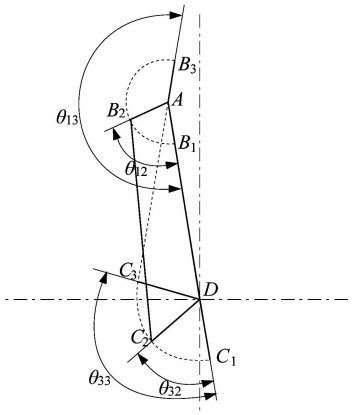


图 12 穿针式送线机构四杆机构构造图

Figure 12 Structural diagram of four bar mechanism of wire feeding mechanism

由图 12 中的几何关系可得

$$AB_1=AB_2=AB_3=a,$$
$$DC_1=DC_2=DC_3=c,$$
$$C_1B_1=C_2B_2=C_3B_3=b,$$
$$DA=d,$$

$$\theta_{11}=0°,$$

$$\theta_{31}=0°。$$

且 A,D 点的位置已经确定。DC_1 是摆杆的一个极限位置,对应曲柄位置 AB_1。DC_3 则是摆杆的另一个极限位置,对应曲柄位置 AB_3。因此,$N=2$,则

$$N_0=5-N=3,$$

即可预选 3 个参数。

由已知条件可求得

$$AD=d=\sqrt{610^2+100^2}\ \text{mm},$$

$$\theta_{13}\approx 198.72°,$$

$$\theta_{33}=116°。$$

故预选的 3 个参数为:

$$\alpha_0=\varphi_0=0。$$

预设　　$c=200$ mm;

$$P_1=-m/n=-c/d=-200/\sqrt{610^2+100^2}。$$

最后将 θ_{2i},θ_{3i} 两组对应值代入公式后,可得

$$\begin{cases}\cos 0°=P_0\cos 0°+P_1\cos 0°+P_2,\\ \cos 198.72°=P_0\cos 116°+P_2\cos(116°-198.72°)+P_2。\end{cases}$$

解方程组,再结合公式(1)~(4)可得:

$a=129.022\ 3$ mm,取 $a=129$ mm;

$b=689.120\ 1$ mm,取 $b=689$ mm;

$c=200$ mm;

$d=618.142\ 3$ mm,取 $d=618$ mm。

根据计算所得数据,对穿针式送线机构进行详细的设计。并通过驱动曲柄转动的中心轴来控制打结机构与穿针式送线机构的协调工作,以完成装置打结工作。

4　结语

田间残膜压缩打包技术从残膜特性入手,充分考虑残膜分布情况和田间作业条件,结合残膜后续再利用的经济性与便利性,将残膜压缩与打包技术相结合,作为一个单独的作业模块,可单独作业,亦可配合前端残膜回收机完成联合作业。田间残膜压缩打包技术能大幅缩减残膜的体积,并且结合打包技术,将压缩后的残膜打包成捆,便于堆放和运输,避免造成二次污染。同时,为残膜后续的回收利用提供了便利,降低了残膜回收的作业成本,减少了田间焚烧残膜造成的环境污染,大大促进了残膜污染治理工作。

参考文献:

[1] 马少辉,杨莹.新疆兵团农田残膜污染现状调查与治理技术分析[J].安徽农业科学,2013,41(35):13678-13681.

[2] 常立荣,裴泽莲,曹磊.残膜回收机研究发展初探[J].农业科技与装备,2013(2):37-38.

[3] 王频,孙学军.残膜回收联合作业机的现状与思考[J].新疆农机化,2000(6):28-30.

[4] 严昌荣,王序俭,何文清,等.新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J].生态学报,2008,28(7):3470-3474.

[5] 王学农,冯斌,陈发,等.4JSM-1800 棉秸秆还田及残膜回收联合作业机的研制[J].新疆农机化,2003(4):53-54.

[6] 高玉新.废塑料薄膜的干法清洗及设备研究[M].昆明:昆明理工大学,2011.

[7] 杨明韶,李旭英.草类物料开式压缩过程的分析研究[J].农机化研究,2005,28(3):81-83.

[8] 陈锋.大方捆打捆机压缩机构设计及压缩试验研究[D].北京:中国农业机械化科学研究院,2007:13-15.

[9] 孙桓,陈作模,葛文杰.机械原理[M].北京:高等教育出版社,2006:134-135.

[信息·简讯]

·行业简讯·

2017 年“西门子杯”中国智能制造挑战赛完美收官
——西门子助力智能制造人才培养,引领数字化时代的未来

2017 年“西门子杯”中国智能制造挑战赛决赛颁奖仪式在上海应用技术大学举行,这是自 2006 年首次举办以来的第 11 届“西门子杯”赛事。“西门子杯”中国智能制造挑战赛是由教育部高等学校自动化专业教学指导委员会、西门子(中国)有限公司和中国系统仿真学会联合主办,是在西门子与教育部签署的《教育合作备忘录》框架下,培养与选拔发展智能制造所需技术及创新人才的赛事。本届大赛历时半年,吸引了来自 2 800 余支队伍的近万名选手参与其中,还首次吸引了来自南非和俄罗斯的选手参与体验赛事。为加强校企合作,今年在挑战赛决赛期间同期举办了“转型升级中制造业人才培养”校企对接论坛暨智能制造校企联盟筹备会,以吸引更多优秀企业参与其中,探索出一条符合中国国情的人才培养新路径。

除举办“西门子杯”赛事之外,在西门子教育合作项目下,西门子还在师资培训、工程教育、学科和实验室建设等领域做了大量工作,推动了先进技术在中国高等院校的普及和应用,为优秀工程人才培养铺设道路。

(项文卿)