

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.06.014

横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机设计与试验

戴飞¹ 赵武云¹ 史瑞杰¹ 张锋伟¹ 马海军² 马明义²

(1. 甘肃农业大学机电工程学院, 兰州 730070; 2. 甘肃洮河拖拉机制造有限公司, 定西 730500)

摘要:为实现全膜双垄沟覆膜种床机械化构建,针对地膜全域覆盖膜上横腰带式覆土等要求,设计了横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机,可实现起垄、施肥、覆膜、覆土及横腰带铺设与渗水孔打孔的一体化作业。对样机关键部件进行设计,确定其旋耕刀组功耗和提土装置、镇压打孔装置的工作参数,同时解析了输土-种床覆土装置、横腰带覆土系统的作业过程,得到满足覆膜种床各部位覆土的必要条件。田间试验表明,当作业速度为0.50 m/s时,采光面地膜机械破损程度为38.6 mm/m²、种床起垄高度合格率为89.8%、种床垄沟中心距合格率为90.7%、种床膜边覆土宽度合格率为95.8%、横腰带覆土宽度合格率为95.6%、种床覆土厚度合格率为95.2%、横腰带覆土间距合格率为93.5%、渗水孔间距合格率为97.1%,试验指标均符合国家与行业标准要求,试验结果满足设计和实际作业要求。

关键词:全膜双垄沟;横腰带覆土;联合作业机

中图分类号: S223.2⁺4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2019)06-0130-10

Design and Experiment of Operation Machine for Filming and Girdle Covering on Double Ridges

DAI Fei¹ ZHAO Wuyun¹ SHI Ruijie¹ ZHANG Fengwei¹ MA Haijun² MA Mingyi²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. Gansu Tao River Tractor Manufacturing Co., Ltd., Dingxi 730500, China)

Abstract: Whole plastic mulching and furrow planting has been widely adopted as a drought resistant cultivation model in the northwest arid area of China in recent years. For further integration agronomic requirement of whole plastic-film mulching on double ridges, in order to realize the mechanized construction of seedbed, a combined operation machine was designed, which synchronously realized institutional operation once such as fertilization, ridging, filming, infiltration hole punching and girdle covering on double ridges. Based on the prototype, the key parts were designed and selected, the structure and operation parameters of soil elevating mechanism and pressing-punching mechanism were determined, and the power consumption of rotary blades was calculated. The operation process of soil transporting-covering mechanism and girdle soil covering mechanism were analyzed, and the necessary work conditions to make sure that the covering soil on the all parts of the seedbed were analyzed and calculated. For the relevant work performance test of prototype, the field experimental results showed that under the condition of the operation speed of 0.50 m/s, the mechanical damage degree of day lighting surface of plastic film was 38.6 mm/m², the qualified rates of ridging height was 89.8%, the qualified rates of furrow center distance was 90.7%, the qualified rates of soil width covered on seedbed film edge was 95.8%, the qualified rates of girdle covering soil width was 95.6%, the qualified rates of soil depth covered on seedbed was 95.2%, the spacing qualification rate of girdle covering soil was 93.5%, and the spacing qualification rate of water-leaking hole was 97.1%, which met the relevant work quality evaluation specification requirements, and the experimental results also met the design requirements of combined operation machine.

Key words: whole plastic-film mulching on double ridges; girdle covering soil; operation machine

收稿日期: 2018-06-14 修回日期: 2018-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(51775115、51405086)、现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-14-1-28)和农业农村部西北农业装备重点实验室开放课题项目(2017NAE-01)

作者简介: 戴飞(1987—),男,副教授,博士生,主要从事西北旱区膜土-机器-植物互作系统研究,E-mail: daifei@gsau.edu.cn

通信作者: 赵武云(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事北方旱区作物生产装备工程研究,E-mail: zhaowuy@gsau.edu.cn

0 引言

旱地全膜双垄沟播技术是中国西北地区旱作农业的一项突破性创新技术,主要针对玉米生产种植提出,要求先完成大小垄体、垄沟种床的耕整、覆膜、覆土,后在小垄垄沟内开展膜上播种作业^[1-2]。由于全膜双垄沟播技术抗旱、增产效果显著,因此在我国西北旱区大面积推广应用,实现机械化起垄、覆膜、覆土联合作业是其必然趋势^[3-9]。种床在机械化覆膜铺设过程中产生的地膜破损、覆膜覆土失效及铺设后田间大风揭膜等均是影响全膜双垄沟种床机械化作业效果的关键因素^[10]。

国内相关科研工作者与企业联合设计研发了全膜双垄沟覆膜、覆土作业机。其中,甘肃省农业机械化技术推广总站设计并改进了1MLQS-40/70型起垄全铺膜联合作业机,该机能够实现全膜双垄沟种床耕整、覆膜与覆土一体化作业,但功能相对不够完善,且土壤升运部分采用帆布带传动,工作过程中容易出现打滑和磨损现象^[11-13]。本课题组前期与甘肃洮河拖拉机制造有限公司联合研制了全膜双垄沟

播起垄施肥铺膜机,该机能够一次性完成起垄、施肥、喷药、覆膜、覆土等联合作业,但覆土环节仅能实现覆膜土带的纵向铺设,不能完成横腰带覆土作业,弱化了覆盖地膜抗风揭膜的能力,导致覆膜种床拦截降雨径流效果不理想,同时不利于种床覆盖地膜的定位沉降,种床横向沟垄横腰带的铺设仍需要人工后续辅助完成^[1]。

为进一步提高全膜双垄沟覆膜种床机械化作业的可靠性,针对地膜全域覆盖膜上横腰带式覆土要求和上述存在问题,在融合全膜双垄沟播农艺技术的基础上,本文设计横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机。

1 整机结构与工作原理

1.1 结构组成

横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机主要由悬挂装置、排肥系统、喷药系统、垄沟及横腰带覆土装置、垄体覆膜装置、旋耕刀组、起土铲、刮板式输送机、地轮、垄沟镇压打孔轮和膜侧镇压轮等部件组成,结构如图1所示。

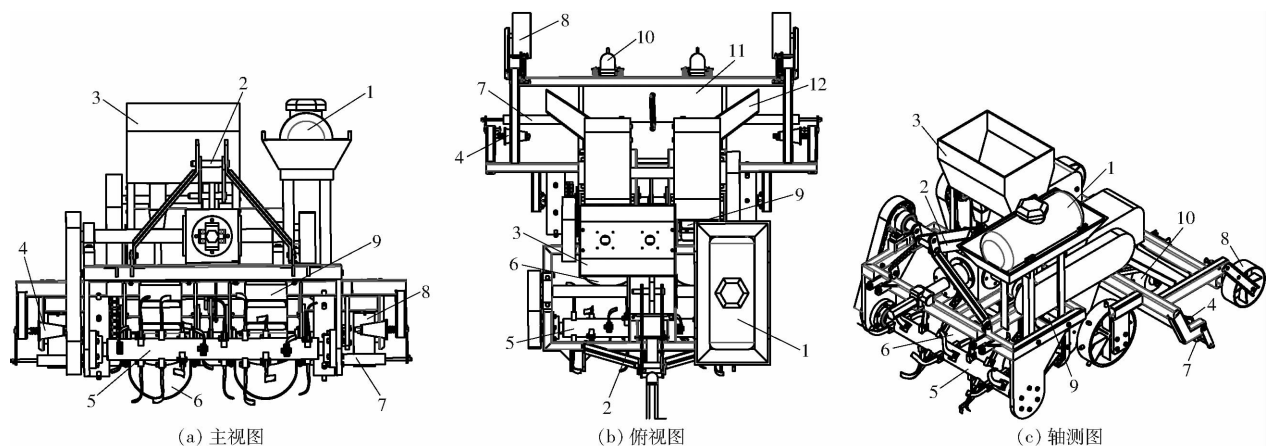


图1 横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜机结构图

Fig. 1 Structure diagrams of operation machine for filming and girdle covering on double ridges

1. 药箱 2. 悬挂架 3. 肥箱 4. 覆膜挂接装置 5. 旋耕刀组 6. 起土铲 7. 展膜辊 8. 膜侧镇压轮 9. 刮板式输送机 10. 垄沟镇压打孔轮 11. 垄沟及横腰带覆土器 12. 侧置溜土槽

其中,排肥系统由肥箱、波纹排肥管及外槽轮式排肥器组成;喷药系统由药箱、磁力泵及喷头构成;垄体覆膜装置由覆膜挂接装置、展膜辊组成;垄沟及横腰带覆土装置由起土铲、刮板式输送机、侧置溜土槽、横腰带覆土器等组成。

1.2 传动系统与工作原理

横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机传动系统如图2所示,机具以三点后悬挂方式与拖拉机联接,当拖拉机牵引前行地轮转动时,通过地轮外侧链传动使得肥箱中外槽轮式排肥器转动,完成小垄垄沟内施肥作业。与此同时,作业机通过联轴器在

变速箱作用下将动力分别传递至其两侧旋耕刀组与输送机动力轴,输送机动力轴转动带动后置土壤刮板式输送机作业。此外,地轮轴上的小带轮与固定在大带轮通过带传动工作,垄沟及横腰带覆土器在横腰带覆土开启机构与大带轮边缘上滚动轴承的相互触碰作用下实现间歇性抖动覆土。

作业机在田间工作时采用四轮拖拉机后置悬挂方式,将拖拉机动力输入至变速箱并传动至旋耕刀轴,带动旋耕刀组将种床土壤旋耕疏松,此时取土铲随着整机前进完成对旋耕种床的开沟起垄;而肥料箱下置排肥器也在地轮转动带动下完成小垄两侧沟

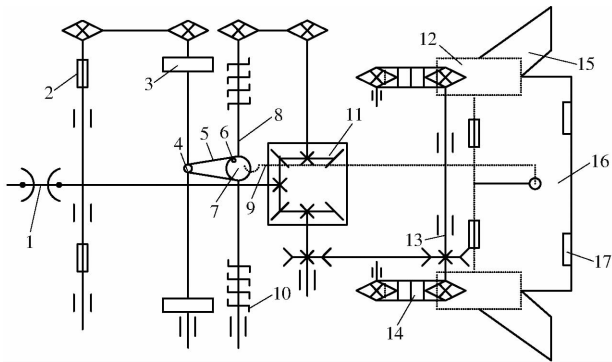


图2 联合作业机传动系统示意图

Fig.2 Schematic of transmission system

1. 联轴器
2. 外槽轮式排肥器
3. 地轮
4. 小带轮
5. 传动带
6. 滚动轴承
7. 大带轮
8. 旋耕刀轴
9. 横腰带覆土开启机构
10. 旋耕刀组
11. 变速箱
12. 输土罩壳
13. 输送机动力轴
14. 刮板式输送机
15. 侧置溜土槽
16. 垄沟及横腰带覆土器
17. 中置溜土口

内施肥,且在喷药装置的作用下向大、小垄面进行药剂喷施;地膜随覆膜挂接装置同步转动,并在展膜辊的辅助下均匀覆膜。作业机在旋耕刀组和取土铲的共同作用下将土壤送至刮板式输送机并后输至覆土罩壳,覆土罩壳可将土壤分为4条路径,其中两侧膜边覆盖土壤通过侧置溜土槽输送,而其余土壤全部在重力作用下滑落至横腰带覆土器,并由其中置溜土口排出,完成垄沟内覆土,且在中置、侧置镇压轮的共同配合下完成镇压作业。此外,随着联合作业机前进作业,横腰带覆土器上的一部分土壤在随着中置溜土口排出后,剩余土壤不断堆积,并在横腰带覆土开启机构与地轮轴上通过带传动转动偏心轮的相互触碰作用下实现垄沟及横腰带覆土器的间歇性抖动,将板上堆积土壤振动抖落,完成全膜双垄沟覆膜种床恒定间隔距离的横向覆土。

1.3 主要技术指标

农艺栽培模式要求如图3所示。全膜双垄沟覆膜种床由异形大垄、小垄共同构成,大小垄总宽度为1100 mm,其中大垄宽700 mm,高100~150 mm,小垄宽400 mm,高150~200 mm,实行地膜全覆盖,并在垄沟内完成播种。在进行机械化覆膜覆土作业时,以小垄垄体为中心基准,应用宽度为1200 mm的白色地膜(厚度为0.01 mm)进行铺设,即用整幅地膜覆盖小垄整体及其两侧的垄沟,且分别均等向两侧各1/2大垄垄体延伸进行覆膜作业,并同时完成两侧膜边、垄沟内的覆土镇压。同时,当下一组小垄垄体进行覆膜作业时,其左侧1/2大垄垄体覆土膜边正好与上一组右侧大垄垄体覆土膜边对接,并在中心覆膜土带的连接下完成大垄垄体的全膜覆盖,整幅地膜所覆盖双垄底部宽度约为1100 mm^[14]。

同时,为进一步提升全膜双垄沟覆膜种床抗风

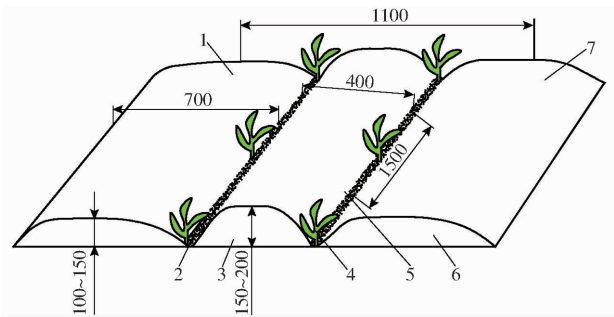


图3 全膜双垄沟播农艺栽培模式

Fig.3 Cultivation pattern of corn whole plastic-film mulching on double ridges

1. 中心覆膜土带
2. 垄沟覆土带
3. 小垄垄体
4. 沟播作物
5. 横腰带覆土
6. 大垄垄体
7. 覆盖地膜

揭膜能力,增强拦截降雨径流效果,要求在小垄垄体表面进行间隔式横腰带覆土,横腰带间隔距离为1500 mm,如图3所示。

结合甘肃省全膜双垄沟覆膜种床构建特点和作业动力计算,横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜机主要技术参数如表1所示。

表1 作业机主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of operation machine

参数	数值/方式
整机尺寸(长×宽×高)/(m×m×m)	1.78×1.50×1.05
配套动力/kW	18.4
挂接方式	后三点悬挂
施肥行数	2
整机质量/kg	166
作业速度/(km·h ⁻¹)	2.80~3.60
生产率/(hm ² ·h ⁻¹)	0.26~0.40
施肥深度/mm	70~90
旋耕深度/mm	100~150
起垄高度/mm	150~200;100~150
起垄宽度/mm	400;700
膜边覆土宽度/mm	90~110
垄沟覆土宽度/mm	35~45
横腰带覆土宽度/mm	90~110
横腰带覆土间隔距离/mm	1500
覆土厚度/mm	20~30

2 关键部件设计

2.1 旋耕刀组

作业机旋耕刀组除了高速切削种床土壤外,还需要将土壤由两侧往中间推送以形成垄畦,其结构如图4所示。

旋耕刀在刀轴上呈双螺旋线排列,为改善刀轴旋转时的平衡,刀轴左边的10把刀排列成右旋,右边的10把刀排列成左旋,确保耕作时旋耕刀组起到切削土壤、向中间推送土壤双重作用。取土方式采

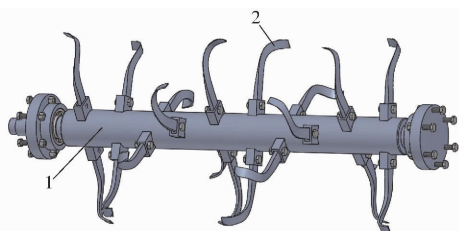


图4 旋耕刀组结构图

Fig.4 Structure diagram of rotary blades

1. 刀轴 2. 旋耕刀

用旋耕疏松,再用弧形起土铲开沟起垄相结合,克服了旋耕刀组在硬茬地上起垄工作时,牵引阻力大、土垡体积大、不宜获取优质覆膜土壤等问题。

联合作业机覆膜、覆土作业过程中,大部分功率消耗在旋耕刀组的入土、翻土、推送过程中。为确保作业机配套动力合理,需要对旋耕刀组功耗进行近似估算^[15]

$$P = 0.1K_{\lambda}v_1bd \quad (1)$$

其中

$$b = 2b_1 + b_2$$

式中 P ——旋耕刀组功耗, kW

K_{λ} ——旋耕比阻,取 6.3 N/cm^2 ^[16]

v_1 ——作业机前进速度,依据双垄耕作施肥喷药覆膜机工作参数优化结果,取 0.50 m/s ^[1]

b ——旋耕刀组耕作宽度, cm

d ——旋耕深度,取 15 cm

b_1 ——1/2 大垄垡体宽度,依照全膜双垄沟播农艺栽培模式(图3)取 0.35 m

b_2 ——小垄垡体宽度,依照全膜双垄沟播农艺栽培模式(图3)取 0.40 m

由式(1)计算分别得出: $b = 1.10 \text{ m}$; $P = 5.20 \text{ kW}$ 。

2.2 提土装置

作业机提土装置结构如图5所示,主要由弧形起土铲、侧板、土壤升运带和土壤升运刮板等部件组成。当作业机前进时,旋耕刀组将种床土壤高速切削疏松,并向中间推送,起土铲跟进挖掘土壤,使其翻转形成垄沟,并在侧板约束作用下将弧形起土铲体上的覆膜土壤通过刮板式输送机提升向后输送。

弧形起土铲是作业机提土装置的关键组成部件,由65Mn钢制成,其工作宽度为210mm。该铲体采用弧形板结构既可以改善土壤的流动性,同时又可增大铲体底板与侧板之间角度,使其不易粘结积土,以确保起垄开沟质量^[12]。作业过程中,要确保提升充足的覆膜土壤,但同时考虑挖掘阻力不易过大,参考相关研究试验结果,工作时将弧形起土铲入土角 α 安装调节为 30° ^[12]。

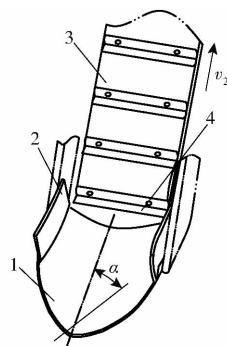


图5 提土装置结构图

Fig.5 Structure diagram of soil elevating mechanism

1. 弧形起土铲 2. 侧板 3. 土壤升运带 4. 土壤升运刮板

2.3 输土-种床覆土装置

2.3.1 装置结构

如图6所示,输土-种床覆土装置主要由起土铲、刮板式输送机、侧置溜土槽、垄沟及横腰带覆土器、输土罩壳和中置溜土口等部件组成。

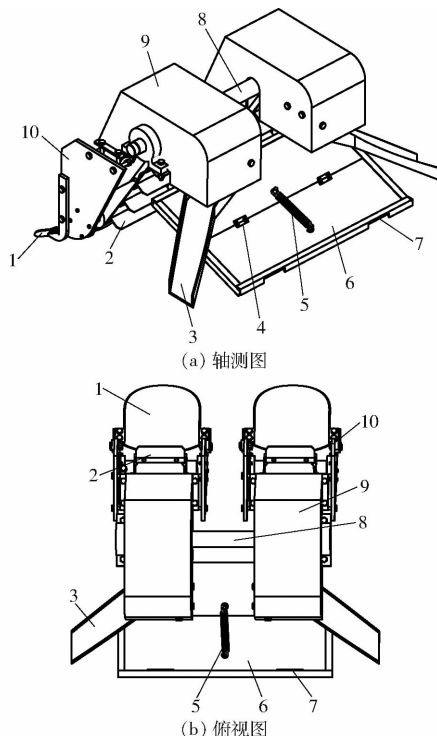


图6 输土-种床覆土装置结构图

Fig.6 Soil transporting-covering mechanism

1. 起土铲 2. 刮板式输送机 3. 侧置溜土槽 4. 合页 5. 复位弹簧 6. 垄沟及横腰带覆土器 7. 中置溜土口 8. 输送机动力轴 9. 输土罩壳 10. 侧板

当联合作业机进行覆膜覆土作业时(图7),异形双垄种床的构建依据全膜双垄沟播农艺栽培模式要求(图3),输送机动力轴转动,带动两侧刮板式输送机运转,实现将弧形起土铲掘起的土壤倾斜提升与输送。当升运土壤输送至装置输土罩壳两侧时,在土壤升运刮板和土壤自身的重力作用下,两侧膜边覆盖土壤通过侧置溜土槽输送,而剩余土壤滑落

至横腰带覆土器,并通过中置溜土口排出,完成对全膜双垄沟种床垄沟与膜侧覆土。与此同时,随着地轮每转动一圈带动偏心轮与横腰带覆土开启机构间歇性碰撞一次,并在合页和复位弹簧的共同作用下,将横腰带覆土器板体上堆积土壤振动抖落,实现全膜双垄沟覆膜种床恒定间隔距离(1 500 mm)的横向覆土作业。

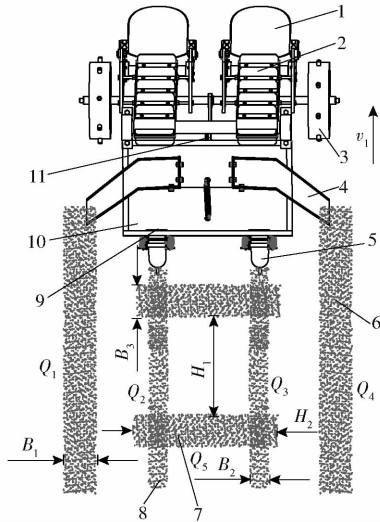


图7 种床覆土作业过程

Fig. 7 Schematic of operation process of covering soil on seedbed

1. 起土铲 2. 刮板式输送机 3. 地轮 4. 侧置溜土槽 5. 渗水孔打孔轮 6. 膜边覆土带 7. 横腰覆土带 8. 垄沟覆土带 9. 中置溜土口 10. 垄沟及横腰覆土器 11. 横腰覆土开启机构

覆膜种床覆土量是影响全膜双垄沟生产系统功能稳定的关键因素之一,覆土量过大或过小均会对其种床构建效果产生影响。当覆土量过大时,覆膜种床有效采光面积减小,严重制约了“地温提升、膜面集雨”的生产功能;而当覆土量过小时,覆膜种床不易紧贴地表沉降,难以抵挡外界自然风力揭膜,致使种床“覆盖抑蒸”功能失效。因此,为保证作业机输土-种床覆土装置工作过程中对覆膜种床覆土作业的一致性与稳定性,需对影响其输土、覆土性能的关键参数(种床各个位置覆土量、刮板式输送机提升线速度及其结构参数)进行理论分析与计算。

2.3.2 覆膜种床覆土量

如图7所示,对覆膜机作业中种床第1组横腰带覆土后至第2组横腰带覆土完成过程中的覆土量进行计算,其覆膜种床的覆土量为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (2)$$

式中 Q ——覆膜种床的覆土量,kg

Q_1 ——左侧侧置溜土槽覆土量,kg

Q_2 ——左侧中置溜土口覆土量,kg

Q_3 ——右侧中置溜土口覆土量,kg

Q_4 ——右侧侧置溜土槽覆土量,kg

Q_5 ——横腰带覆土量,kg

由作业机的输土-种床覆土装置结构可以看出,其左右两侧侧置溜土槽、中置溜土口覆土量对称相等,则有

$$\begin{cases} Q_1 = Q_4 = \gamma H_1 B_1 h \\ Q_2 = Q_3 = \gamma H_1 B_2 h \end{cases} \quad (3)$$

式中 γ ——土壤(黄绵土)容重,取 $1\,300\text{ kg/m}^3$ [17]

H_1 ——横腰带覆土间隔距离,为 $1\,500\text{ mm}$

B_1 ——膜边覆土宽度,取 100 mm

B_2 ——垄沟覆土宽度,取 40 mm

h ——覆土厚度,取 25 mm

由式(3)计算分别得出: $Q_1 = Q_4 = 4.875\text{ kg}$;
 $Q_2 = Q_3 = 1.95\text{ kg}$ 。

依据表1中横腰带覆土农艺要求与垄沟及横腰带覆土器作业宽度,种床横腰带覆土量为[18]

$$Q_5 = \gamma B_3 H_2 h \quad (4)$$

式中 H_2 ——横腰带覆土宽度,为 110 mm

B_3 ——膜边覆土宽度,取 100 mm

由式(4)计算得出: $Q_5 = 0.36\text{ kg}$;由式(2)~(4)计算得出: $Q = 14.01\text{ kg}$ 。

2.3.3 刮板式输送机提升线速度

为保障全膜双垄沟覆膜种床覆盖地膜快速沉降,且与耕地表面充分贴合,作业机输土-种床覆土装置中应具有充足土壤对种床膜边、垄沟进行均匀、连续覆土。因此,刮板式输送机提升线速度是影响覆膜覆土性能的关键作业因素。刮板式输送器的倾斜角不宜过大或过小。当倾角过小时,刮板式输送机容易与耕地表面发生干涉,造成输送机刮板打土、磨损;当倾角过大时,容易引起刮板之间提升土壤滑落,影响刮板式输送机作业效率。依据前期相关设计试验结果,设计刮板式输送器的倾角 α_1 为 45° [18]。由图7覆土过程可以看出,作业机左右对称提土装置确保了覆膜种床的所有覆土量,则刮板式输送机倾斜提升线速度为[15]

$$v_2 = \frac{Q_6}{t B_4 H_3 \gamma \varphi k} \quad (5)$$

其中

$$Q_6 = \frac{Q}{2} \quad t = \frac{H_1}{v_1}$$

式中 Q_6 ——左侧提土装置输(覆)土量,kg

B_4 ——土壤升运带宽度,为 0.17 m

H_3 ——土壤升运刮板高度,为 0.05 m

φ ——刮板式输送机填充系数,倾斜升运取 0.80 [15]

k ——倾斜系数,刮板式输送机倾斜角为 45° ,查表取 0.40 [15]

t ——覆膜机作业中种床第 1 组横腰带覆土后至第 2 组横腰带覆土完成所需时间, s

由式(5)计算得出刮板式输送机倾斜提升线速度 $v_2 = 0.71 \text{ m/s}$ 。

2.3.4 刮板式输送机结构参数

如图 8 所示,当输送土壤填充至刮板式输送机中且稳定倾斜升运时,两刮板之间及其填充土壤形成了一个闭合的直角三角形,依据几何关系,可得刮板间距为

$$L = \frac{H_3}{\tan(\alpha_1 - \beta)} \quad (6)$$

式中 α_1 ——刮板式输送机倾斜角,为 45°

β ——土壤(黄绵土)内摩擦角,取 28° ^[19]

由式(6)计算得出刮板升运带式提土器刮板间距 $L = 0.161 \text{ m}$,在每组刮板升运带式提土器上设置 15 个刮板,即升运带长度设计值为 2.25 m 。

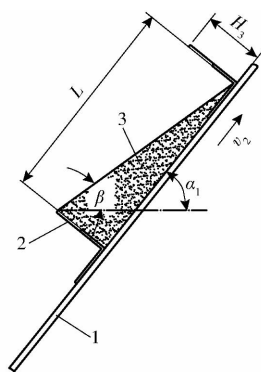


图 8 刮板式输送机作业示意图

Fig. 8 Schematic of operation process of scraper lifting belt

1. 土壤升运带 2. 土壤升运刮板 3. 输送土壤

2.4 横腰带覆土系统

设计的横腰带覆土系统结构组成及其覆土作业过程如图 9 所示,横腰带覆土系统主要由起土铲、侧板、刮板式输送机、覆土抖动板、横腰带覆土开启机构和地轮等组成。依据全膜双垄沟播农艺栽培模式(图 3),当作业机以 0.50 m/s 前行时^[1],垄沟及横

腰带覆土器按照全膜双垄沟横腰覆土带间距要求 ($H_1 = 1500 \text{ mm}$) 在传动装置、横腰带覆土开启机构和覆土抖动板的共同作用下完成间歇式横向覆土作业,并通过覆土抖动板限位弹簧快速回位。

其中,横腰带覆土开启机构与传动装置上从动轮的间歇接触作用是决定横腰覆土带间距的关键因素。覆土抖动板闭合与开启作业过程如图 10 所示,主动带轮安装在地轮轴上,随着作业机前进带动从动轮转动,从动轮轮缘上安装有滚动轴承,滚动轴承随从动轮每转 1 周对横腰带覆土开启机构触碰 1 次,而横腰带覆土开启机构在与覆土抖动板滑槽铰接作用下实现对覆土抖动板的下压式开启,完成横腰带覆土作业(图 10a);并在限位弹簧的作用下,实现覆土抖动板瞬时复位闭合状态(图 10b)。

横腰带覆土系统传动装置类型设计为带传动,其中,主动带轮直径 $D_1 = 60 \text{ mm}$,从动带轮直径 $D_2 = 120 \text{ mm}$,装置传动比为 2。

在横腰带覆土系统作业过程中,其覆土抖动板的抖动频率直接影响着种床横向覆土带的间隔距离与分布,由图 9、10 分析可得覆土抖动板的抖动频率为

$$f = \frac{1}{T} = \frac{v_1}{H_1} \quad (7)$$

式中 f ——覆土抖动板的抖动频率, Hz

T ——覆土抖动板的抖动周期, s

由式(7)计算得覆土抖动板的抖动周期 $T = 3 \text{ s}$,覆土抖动板的抖动频率为 0.33 Hz 。

2.5 镇压打孔装置

镇压打孔装置结构如图 11 所示,主要由膜侧镇压轮及其仿形机构、垄沟镇压打孔轮及其仿形机构、机架等部件组成。

为有效利用小垄垄体膜面集雨功能收集的降水,需要在垄沟沟底膜面上打渗水孔,打孔针穿套在直径为 190 mm 的垄沟镇压打孔轮上,打孔针直径为 5 mm ,长度为 25 mm ,顶部加工成锥形;垄沟镇压

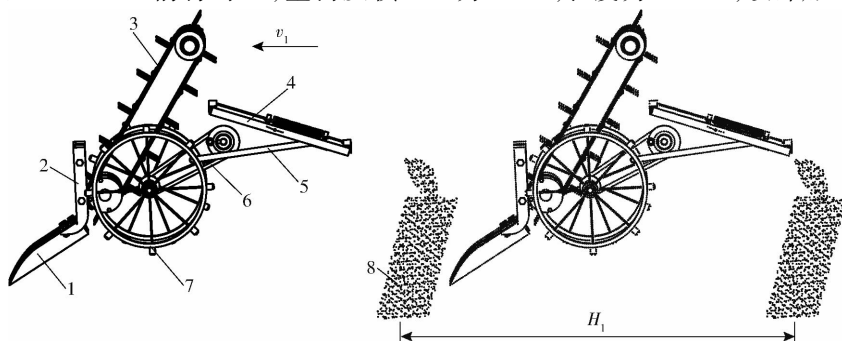


图 9 横腰带覆土系统

Fig. 9 System of girdle soil covering mechanism

1. 起土铲 2. 侧板 3. 刮板式输送机 4. 覆土抖动板 5. 横腰带覆土开启机构 6. 传动装置 7. 地轮 8. 横腰带覆土

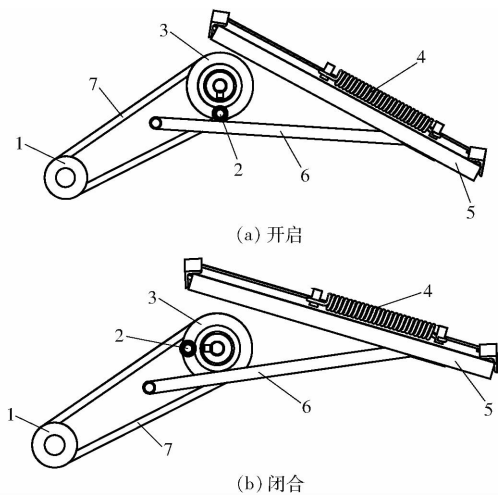


图10 覆土抖动板工作状态

Fig. 10 Working states of soil shaking plate

1. 主动带轮 2. 滚动轴承 3. 从动带轮 4. 限位弹簧 5. 覆土抖动板 6. 横腰带覆土开启机构 7. 传动带

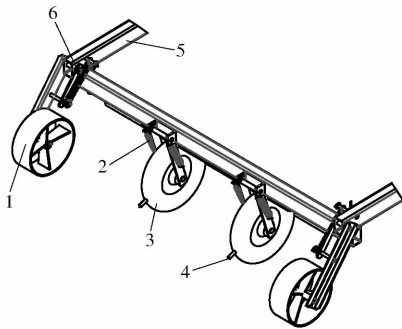


图11 镇压打孔装置结构示意图

Fig. 11 Schematic of pressing-punching mechanism

1. 膜侧镇压轮 2. 仿形弹簧 I 3. 垄沟镇压打孔轮 4. 打孔轮 5. 机架 6. 仿形弹簧 II

打孔轮、膜侧镇压轮(直径为180 mm)通过组件与机架铰接,并分别在所连接仿形弹簧的作用下形成平行四杆仿形机构。

3 田间试验与结果分析

3.1 试验条件与材料

2018年4月,在甘肃省洮河拖拉机制造有限公司-甘肃农业大学临洮旱作农机装备专家大院试验田进行了横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机田间作业性能试验,如图12所示。试验地面积为0.60 hm²,土壤为黄绵土,土壤含水率为14.9%~16.1%,土壤容重为1 300 kg/m³,坚实度小于0.16 MPa,田面较平整、疏松且杂草较少。试验前对联合作业机进行调试,在肥箱中加入磷酸二铵固体颗粒化肥,通过侧板将提土装置起土铲倾角调整为15°,在覆膜挂接装置上安装白色卷状地膜(厚度为0.01 mm),并牵拉至展膜辊下贴地铺平,作业机配套动力为22.1 kW 洮河-304型轮式拖拉机,试验前

进速度为0.50 m/s。



图12 联合作业机田间作业性能试验

Fig. 12 Field performance test of combined machine

3.2 试验方案与方法

按照NY/T 986—2006《铺膜机作业质量》标准、DB62/T 1935—2010《全膜双垄沟铺膜机操作规程及作业质量验收》标准和DB62/T 1934—2010《全膜双垄沟玉米机械化作业技术规范》标准要求,计算测定横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机田间工作后采光面地膜机械破损程度、种床起垄高度合格率、种床垄沟中心距合格率、种床膜边覆土宽度合格率、横腰带覆土宽度合格率、种床覆土厚度合格率、横腰带覆土间距合格率和渗水孔间距合格率^[10]。同时考察联合作业机旋耕起垄装置、排肥系统、种床覆膜装置及输土-种床覆土装置的工作运转情况。

其中,采光面地膜机械破损程度测定方法为:以1.2 m(地膜幅宽)×5 m(测区长度)的面积为1个测定小区,应用钢卷尺进行人工测量的作业方式获取各测区内采光面地膜上所有机械破损部位的边长或缝长($S_c \leq 50 \text{ mm/m}^2$ 表明联合机作业性能符合标准要求),以3个作业小区的测定平均值为测试结果。采光面地膜机械破损程度计算式为

$$S_c = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{lb} \quad (8)$$

式中 S_c ——采光面地膜机械破损程度,mm/m²

l_i ——测区内第*i*处机械破损部位的边长或缝长,mm

n ——测区内出现机械破损部位的个数

l ——测区长度,m

b ——测区内采光面地膜宽度平均值,m

种床起垄高度合格率、种床垄沟中心距合格率、种床膜边覆土宽度合格率、横腰带覆土宽度合格率、种床覆土厚度合格率测定方法为:随机选取测定点,在每个测定点上测定种床起垄高度、种床垄沟中心距、种床膜边覆土宽度、横腰带覆土宽度和种床覆土厚度,分别求其平均值,有

$$Y_1 = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (9)$$

$$Y_2 = \frac{m_2}{m_0} \times 100\% \quad (10)$$

$$Y_3 = \frac{m_3}{m_0} \times 100\% \quad (11)$$

$$Y_4 = \frac{m_4}{m_0} \times 100\% \quad (12)$$

$$Y_5 = \frac{m_5}{m_0} \times 100\% \quad (13)$$

式中 Y_1 ——种床起垄高度合格率, %
 Y_2 ——种床垄沟中心距合格率, %
 Y_3 ——种床膜边覆土宽度合格率, %
 Y_4 ——横腰带覆土宽度合格率, %
 Y_5 ——种床覆土厚度合格率, %
 m_0 ——总测定点数
 m_1 ——种床起垄高度合格点数
 m_2 ——种床垄沟中心距合格点数
 m_3 ——种床膜边覆土宽度合格点数
 m_4 ——横腰带覆土宽度合格点数
 m_5 ——种床覆土厚度合格点数

随机抽取作业后长度为 15 m 的全膜双垄沟覆膜种床, 测量横腰带覆土间距, (1 500 ± 25) mm 为合格, 测量渗水孔间距, (200 ± 10) mm 为合格, 以 10 个作业小区的测定平均值为测试结果。横腰带覆土间距合格率、渗水孔间距合格率计算式分别为^[20]

$$Y_6 = \frac{t_1}{t_0} \times 100\% \quad (14)$$

$$Y_7 = \frac{t_2}{t_0} \times 100\% \quad (15)$$

式中 Y_6 ——横腰带覆土间距合格率, %
 Y_7 ——渗水孔间距合格率, %
 t_0 ——总测定点数
 t_1 ——横腰带覆土间距合格点数
 t_2 ——渗水孔间距合格点数

3.3 试验结果与分析

横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机田间试验结果如表 2 所示。由试验结果可得, 试验指标均达到国家及行业相关标准要求。

试验过程中发现, 当作业机稳定前进且耕地平整时, 样机各关键工作部件性能稳定。若前进速度过大, 引起对铺设地膜的过分拉扯, 造成覆盖地膜与种床地表贴合不紧实而容易出现垄沟地膜架空现象。同时, 当田间作业地表崎岖不平、石块较多时, 容易引起覆膜机地轮打滑现象, 致使横腰带覆土装置开启失效, 这也是造成样机横腰带覆土间距合格

表 2 田间试验结果

Tab.2 Result of field experiment

试验指标	标准值	试验值
采光面地膜机械破损程度/(mm·m ⁻²)	≤50	38.6
种床起垄高度合格率/%	≥75	89.8
种床垄沟中心距合格率/%	≥75	90.7
种床膜边覆土宽度合格率/%	≥90	95.8
横腰带覆土宽度合格率/%	≥90	95.6
种床覆土厚度合格率/%	≥90	95.2
横腰带覆土间距合格率/%	≥90	93.5
渗水孔间距合格率/%		97.1

率相对较低的主要因素之一。当田间土壤坚实度较高或含水率过大时, 则会影响旋耕土壤进入输土-种床覆土装置的及时性与流动特性, 导致膜边、垄沟覆土宽度与厚度不一致, 土壤结块覆盖, 严重影响了全膜双垄沟种床的构建质量。因此, 需要适当调整作业机前进速度, 确保旋耕刀组与田间土壤的充分作用时间, 以获取高质量的种床覆膜土壤。

4 结论

(1) 在融合全膜双垄沟播农艺技术要求及横腰带覆土作业模式基础上, 研制了横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机, 确定了样机传动系统, 并对其提土装置、输土-种床覆土装置、横腰带覆土系统及镇压打孔装置等重要作业部件进行选型与设计, 根据相关作业性能要求完成其关键工作参数分析计算。

(2) 联合作业机采用旋耕刀组与提土装置相结合方式开沟起垄, 确保肥箱内的肥料准确施入小垄垄体两侧部位; 通过对全膜双垄沟种床各部位覆土宽度、覆土厚度、覆土间隔要求条件进行分析, 确保输土-种床覆土装置和横腰带覆土系统能准确、可靠地实现对覆膜种床膜边、垄沟及其横腰带的覆土作业。

(3) 田间试验表明, 横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机工作后, 相关采光面地膜机械破损程度为 38.6 mm/m²、种床起垄高度合格率 89.8%、种床垄沟中心距合格率为 90.7%、种床膜边覆土宽度合格率为 95.8%、横腰带覆土宽度合格率为 95.6%、种床覆土厚度合格率为 95.2%、横腰带覆土间距合格率为 93.5%、渗水孔间距合格率为 97.1%。试验指标均达到国家及行业相关标准要求, 试验结果满足设计要求, 能够实现全膜双垄沟种床的起垄、施肥、覆膜、覆土及横腰带铺设与渗水孔打孔等机械化作业。

参 考 文 献

- [1] 戴飞,赵武云,马明义,等. 双垄耕作施肥喷药覆膜机工作参数优化[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(1):83-90.
DAI Fei, ZHAO Wuyun, MA Mingyi, et al. Parameters optimization of operation machine for tillage-fertilization and spraying-filming on double ridges[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):83-90. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160112&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.012. (in Chinese)
- [2] 戴飞,赵武云,石林榕,等. 基于近等速机构的玉米全膜双垄沟穴播机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(11):74-81.
DAI Fei, ZHAO Wuyun, SHI Linrong, et al. Design and experiment of hill-seeder with whole plastic-film mulching on double ridges for corn based on mechanism with approximate constant speed [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11):74-81. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161110&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.010. (in Chinese)
- [3] ZHOU Limin, JIN Shengli, LIU Changan, et al. Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem[J]. Field Crops Research, 2012, 126:181-188.
- [4] QIN Shuhao, ZHANG Junlian, DAI Hailin, et al. Effect of ridge-furrow and plastic-mulching planting patterns on yield formation and water movement of potato in a semi-arid area[J]. Agricultural Water Management, 2014, 131:87-94.
- [5] 李来祥,刘广才,杨祁峰,等. 甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与进展[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(1):114-118.
LI Laixiang, LIU Guangcai, YANG Qifeng, et al. Research and application development for the techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows in dry land[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(1):114-118. (in Chinese)
- [6] 刘晓伟,何宝林,郭天文. 全膜双垄沟不同覆膜时期对玉米土壤水分和产量的影响[J]. 核农学报,2012,26(3):602-609.
LIU Xiaowei, HE Baolin, GUO Tianwen. Effects of full mulching on double ridges with different mulching methods on soil water content and maize yield in dryland[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(3):602-609. (in Chinese)
- [7] 赵凡. 基于 Richards 模型的全膜双垄沟播与传统栽培模式玉米生长势差异研究[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(4):211-217.
ZHAO Fan. Research on growth variations of maize by whole film double furrow sowing based on Richards model from traditional cultivation mode[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(4):211-217. (in Chinese)
- [8] 李磊,张强,冯悦晨,等. 全膜双垄沟播改善干旱冷凉区盐渍土水盐状况提高玉米产量[J]. 农业工程学报,2016,32(5):96-103.
LI Lei, ZHANG Qiang, FENG Yuechen, et al. All-film double-furrow sowing improving water and salt conditions and increasing maize yield in saline soil of cold and arid area[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(5):96-103. (in Chinese)
- [9] 张建军,樊廷录,党翼,等. 密度与氮肥运筹对陇东旱塬全膜双垄沟播春玉米产量及生理指标的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(22):4574-4584.
ZHANG Jianjun, FAN Tinglu, DANG Yi, et al. The effects of density and nitrogen management on the yield and physiological indices of spring maize under plastic-covered ridge and furrow planting in loess plateau east of Gansu[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(22):4574-4584. (in Chinese)
- [10] DB62/T 1934—2010 全膜双垄沟玉米机械化作业技术规范[S]. 2010.
- [11] 安世才,张勇,王赞,等. 起垄全铺膜联合作业机的设计与试验研究[J]. 中国农机化,2009,30(8):73-76.
AN Shicai, ZHANG Yong, WANG Yun, et al. Design and experimental study on the whole film mulching and ridge forming combined machine[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2009, 30(8):73-76. (in Chinese)
- [12] 张勇,安世才,王赞,等. 1MLQS-40/70 起垄全铺膜联合作业机的改进设计[J]. 中国农机化,2011,32(4):89-92.
ZHANG Yong, AN Shicai, WANG Yun, et al. Improved design on the 1MLQS-40/70 whole film mulching and ridge forming combined machine[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011, 32(4):89-92. (in Chinese)
- [13] 刘鹏霞,安世才,孟养荣,等. 1MLQS-40/70 起垄全铺膜联合作业机性能优化试验[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(3):285-290.
LIU Pengxia, AN Shicai, MENG Yangrong, et al. Optimal experiment of performance for the 1MLQS-40/70 combined machine as ridge forming and paving plastic mulch[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(3):285-290. (in Chinese)
- [14] 戴飞,赵武云,张锋伟,等. 玉米全膜双垄沟残膜回收机作业性能优化与试验[J]. 农业工程学报,2016,32(18):50-60.
DAI Fei, ZHAO Wuyun, ZHANG Fengwei, et al. Optimization and experiment of operating performance of collector for corn whole plastic film mulching on double ridges[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(18):50-60. (in Chinese)
- [15] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(下册)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- [16] 姬江涛,贾世通,杜新武,等. 1GZN-130V1 型旋耕起垄机的设计与研究[J]. 中国农机化学报,2016,37(1):1-4,21.
JI Jiangtao, JIA Shitong, DU Xinwu, et al. Design and research of 1GZN-130V1 rotary cultivation ridger[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(1):1-4, 21. (in Chinese)
- [17] 孙伟,刘小龙,石林榕,等. 刮板升运带式膜上覆土装置覆土特性[J]. 机械工程学报,2016,52(7):38-45.

- SUN Wei, LIU Xiaolong, SHI Linrong, et al. Covering soil on plastic-film characteristics of scraper lifting belt mechanism [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2016, 52(7): 38-45. (in Chinese)
- [18] 戴飞, 赵武云, 宋学锋, 等. 提土-全膜面覆土装置作业参数优化与试验[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(11): 88-96. DAI Fei, ZHAO Wuyun, SONG Xuefeng, et al. Operating parameter optimization and experiment of device with elevating and covering soil on plastic-film[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(11): 88-96. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171111&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.011. (in Chinese)
- [19] 李强, 刘国彬, 许明祥, 等. 黄土丘陵区撂荒地土壤抗冲性及相关理化性质[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(10): 153-159. LI Qiang, LIU Guobin, XU Mingxiang, et al. Soilanti-scouribility and its related physical properties on abandoned land in the Hilly Loess Plateau [J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(10): 153-159. (in Chinese)
- [20] 孙伟, 刘小龙, 张华, 等. 马铃薯施肥播种起垄全膜覆盖种行覆土一体机设计[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(20): 14-22. SUN Wei, LIU Xiaolong, ZHANG Hua, et al. Design of potato casingsoil planter in all-in-one machine combined with fertilizing, sowing, ridging, complete film mulching and planting line covering[J]. *Transactions of the CSAE*, 2017, 33(20): 14-22. (in Chinese)

(上接第 40 页)

- [8] SARIPALLI S, SUKHATME G S, MONTGOMERY J F. An experimental study of the autonomous helicopter landing problem [J]. *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 2003, 5: 466-475.
- [9] SARIPALLI S, MONTGOMERY J F, SUKHATME G S, et al. Vision-based autonomous landing of an unmanned aerial vehicle [C]// *International Conference on Robotics and Automation*. IEEE, 2002: 2799-2804.
- [10] SANCHEZ-LOPEZ J L, SARIPALLI S, CAMPOY P, et al. Toward visual autonomous ship board landing of a VTOL UAV [C]// *International Conference on Unmanned Aircraft Systems*. IEEE, 2013: 779-788.
- [11] SANCHEZ-LOPEZ J L, PESTANA J, SARIPALLI S, et al. An approach toward visual autonomous ship board landing of a VTOL UAV [J]. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2014, 74(1-2): 113-127.
- [12] SILVA J, MENDONCA R, MARQUES F, et al. Saliency-based cooperative landing of a multirotor aerial vehicle on an autonomous surface vehicle [C]// *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. IEEE, 2014: 1523-1530.
- [13] LIN S, GARRAT M A, LAMBERT A J. Monocular vision-based real-time target recognition and tracking for autonomously landing an UAV in a cluttered shipboard environment [J]. *Auton Robot*, 2017, 41(4): 881-901.
- [14] PREMACHANDRA C, YOSHIDA T, KATO K. A basic study of landing system for multicopters using Raspberry Pi [C]// *IEEE International Symposium on Consumer Electronics*. IEEE, 2015: 1-2.
- [15] SUDEVAN V, SHUKLA A, KARKI H. Vision based autonomous landing of an unmanned aerial vehicle on a stationary target [C]// *International Conference on Control, Automation and Systems*. IEEE, 2017: 362-367.
- [16] 赵腾, 野口伸, 杨亮亮, 等. 基于视觉识别的小麦收获作业线快速获取方法[J/OL]. *农业机械学报*, 2016, 47(11): 32-37. ZHAO Teng, NOBORU N, YANG Liangliang, et al. Fast edge detection method for wheat field based on visual recognition [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(11): 32-37. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161105&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.005. (in Chinese)
- [17] GONZALEZ R C, WOODS R E. *Digital image processing* [M]. 3rd ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, 2008: 374-379.
- [18] BRADLEY D, ROTH G. Adaptive thresholding using the integral image [J]. *Journal of Graphics Gpu & Game Tools*, 2007, 12(2): 13-21.
- [19] 邢藏菊, 王守觉, 邓浩江, 等. 一种基于极值中值的新型滤波算法[J]. *中国图象图形学报*, 2001, 6(6): 533-536. XING Cangju, WANG Shoujue, DENG Haojiang, et al. A new filtering algorithm based on extremum and median value [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, 6(6): 533-536. (in Chinese)
- [20] 赵文彬, 张艳宁. 角点检测技术综述[J]. *计算机应用研究*, 2006, 23(10): 17-19. ZHAO Wenbin, ZHANG Yanning. Survey on corner detection [J]. *Application Research of Computers*, 2006, 23(10): 17-19. (in Chinese)
- [21] 章为川, 孔祥楠, 宋文. 图像的角点检测研究综述[J]. *电子学报*, 2015, 43(11): 2315-2321. ZHANG Weichuan, KONG Xiangnan, SONG Wen. Review of image corner detection algorithms [J]. *ACTC Electronica Sinica*, 2015, 43(11): 2315-2321. (in Chinese)
- [22] HARTLEY R, ZISSERMAN A. *Multiple view geometry in computer vision* [M]. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2003: 88-93.
- [23] FAUGERAS O, LUSTMAN F. Motion and structure from motion in a piecewise planar environment [J]. *International Journal of Pattern Recognition & Artificial Intelligence*, 1988, 2(3): 1-23.