

刘梦霞,王春耀,罗建清,等. 场地膜秆分离装置进料口尺寸改变的数值模拟[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):397-400.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.113

# 场地膜秆分离装置进料口尺寸改变的数值模拟

刘梦霞,王春耀,罗建清,范雷刚

(新疆大学机械工程学院,新疆乌鲁木齐 830047)

**摘要:**为达到有效分离地膜的目的,研究场地膜秆分离装置内流场的压力分布和速度分布,获得适合场地膜秆分离装置进料口的尺寸,为场地膜秆分离装置的结构设计和优化提供比较重要的理论依据,建立了场地膜秆分离装置初始模型,采用 ansys 里的 fluent 模块对其腔体内流场的压力分布和速度分布进行了数值模拟,对比分析所得的结果。当进料口宽度为 200 mm,进料口长度为 400 mm,进料口中心位置距腔体中心位置为 524 mm 时为合理工况,此时下落粗细棉秆的范围较大,利于分离出地膜。

**关键词:**场地膜秆分离装置;Fluent;流场分析;数值模拟

**中图分类号:** S223.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)09-0397-04

地膜覆盖技术兴起于欧美日等国,且普及迅速,因其具有很好的增产效果,在我国得到了大面积的推广使用,地膜覆盖的作物已超过 50 种<sup>[1-3]</sup>。但是该技术带来经济效益的同时,地膜残留的危害也不容小觑,存留的农用地膜损坏了土壤结构,抑制了土壤微生物的生长,导致农产品的产量及质量降低<sup>[4-7]</sup>。有关地膜分离装置的报道比较少,本研究采用标准的  $k-\varepsilon$  湍流模型对场地膜秆分离装置内部流场进行了数值

模拟,得出其内部流场的压力分布和速度分布情况,为场地膜秆分离装置的优化设计提供了有效的方法。

## 1 建立场地膜秆分离装置的物理模型及网格划分

本研究是有关水平管道气力输送的,从风机吹出的正压气流通过送风口射出,与进料口出来的物料混合,进入水平管道,由于粗棉秆、细棉秆、地膜的悬浮速度不同,经过试验得出,粗棉秆的悬浮速度为 8~10 m/s,细棉秆的悬浮速度为 6~8 m/s,地膜的悬浮速度为 2 m/s,地膜与粗细棉秆的悬浮速度相差较大,因此利用其较大的速度差,物料依次落下,最后分离出地膜。

### 1.1 数学模型

地膜的分离过程十分复杂,涉及气固两相流,物料的形状、浓度、混合比及压力损失等都会影响流动状态,并且计算

收稿日期:2015-12-02

基金项目:国家自然科学基金(编号:51465054)。

作者简介:刘梦霞(1991—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事机械系统动力学研究。E-mail:1229230892@qq.com。

通信作者:王春耀,教授,硕士生导师,主要从事力学研究。E-mail:wangchun\_yao@126.com。

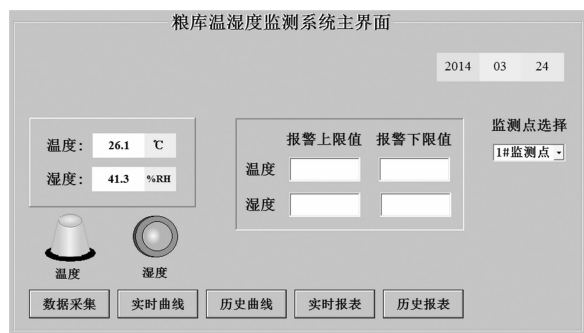


图6 上位机可视化监测主界面

据的采集与变送。考虑到目前商用 PC 机一般不具备 CAN 通信接口,设计了 1 个 CAN/RS232 通信转换模块,用以实现 CAN 总线数据和 RS232 串口数据间的互换<sup>[9]</sup>。上位机统一监测界面基于 MCGS 平台开发,人机交互友好。MCGS 与底层单片机之间的通信驱动程序需要用户自己开发,为此,笔者基于 MCGS 脚本驱动开发工具开发了 MCGS 串口驱动构件,现场调试表明,MCGS 与单片机之间数据通信稳定可靠,实时性高。

## 参考文献:

- [1] 王永志,刘媛媛. 大型粮库的温湿度监测报警控制系统[J]. 农机化研究,2008(8):167-169.
- [2] 袁江,曹金伟,邱自学,等. 基于 WSN 的粮库温湿度无线监测系统[J]. 测控技术,2012,31(4):77-81.
- [3] 饶涛涛,邹继勇,王进宏,等. 现场总线 CAN 原理与应用技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [4] 卢超. 基于 CAN 总线分布式矿井温湿度监测系统研发[J]. 煤炭科学技术,2011,39(9):94-99.
- [5] 邓德源,王成栋,苗强. 基于 CAN 总线的温湿度在线监测系统的设计[J]. 仪表技术与传感器,2012(12):40-42.
- [6] 黎志刚,王俊元,刘波. 基于 MCGS 的 SMC 电动执行器控制方法研究[J]. 制造业自动化,2014,36(7):16-18.
- [7] 朱林,李兰云. 嵌入式系统在稀土萃取流量控制中的应用[J]. 自动化仪表,2013,34(3):34-37.
- [8] 包建华. 基于 MCGS 的步进电机控制系统设计[J]. 计算机测量与控制,2012,20(3):702-704.
- [9] 王强,张建喜. RS232 通信网络与 CAN 总线通信网络互联设计[J]. 电子技术应用,2010,36(9):158-160.

参数难以确定,很难定量观测研究。本研究通过改变进料口宽度、进料口长度和进料口位置来分析比较其流场内部的速度分布和压力分布,找到一种最佳的工作状态。

流体在管道内的流动为湍流流动<sup>[8]</sup>,定义管道内部的流场是不可压缩、定常等温流场,湍流流动采用  $k-\varepsilon$  模型<sup>[9-10]</sup>,在直角坐标下的各个控制方程为:

(1) 质量守恒方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

对于不可压缩的流体,密度  $\rho$  设定为常数,那么上式可化简为:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

(2) 动量守恒方程(即 N-S 方程):

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + F_x; \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + F_y; \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \text{div}(\rho \omega u) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + F_z. \quad (5)$$

(3)  $k-\varepsilon$  湍流方程:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} +$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\varepsilon} \varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}. \quad (6)$$

模型中的常数按照文献<sup>[11]</sup>选取  $C_{1\varepsilon}=1.44$ ,  $C_{2\varepsilon}=1.92$ ,  $\sigma_k=1.0$ ,  $\sigma_\varepsilon=1.3$ ,将这一数学模型进行数值模拟分析。

## 1.2 网格划分

用 UG 软件对场地膜秆分离装置进行建模,然后使用适用性很好的 Tgrid 混合网格对模型进行网格划分,生成的网格数大约为 52 340,网格划分如图 1 所示。

## 1.3 边界条件的处理

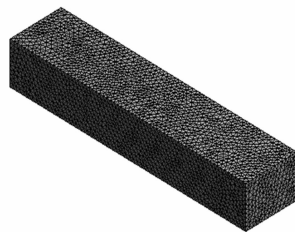


图1 场地膜秆分离装置网格划分

根据管道的特点,设置送风口的类型为 velocity-inlet,速度为 10 m/s,出口处类型设为 outflow,进料口的类型设为 velocity-inlet,速度为 0 m/s,假设在平衡状态下送料,物料和送风气流混合后,进入管道,管道的其他固定边界设为 wall。

## 2 场地膜秆分离装置的优化过程

### 2.1 初始模型的模拟分析

采用 Ansys 的 fluent 模块对场地膜秆分离装置进行流场分析,模型的尺寸经过实地测量得到参数如下:外形尺寸 6 000 mm × 1 000 mm × 1 300 mm;送风口尺寸 600 mm × 150 mm;进料口尺寸 400 mm × 200 mm。

经过 fluent 软件模拟分析装置内的流场,可以得到流场在整个腔体内的压力分布(见图 2-a 所示)和速度分布(见图 2-b 所示)。

通过分析图 2-a 可以看出,流体在腔体前 1/3 处的压力为负值,即负压区,在腔体 1/3 位置往后,压力为正值,即正压区,说明管道内部确实是从负压输送到正压输送的,在  $x > 4 000$  mm 范围内,压力基本保持不变;分析图 2-b 可以看出,流场在腔体内的速度逐渐减小,且在腔体的前半部分速度分布不均匀,各点的速度分散,不够密集,在腔体的后半部分,速度分布较均匀,在  $x > 4 000$  mm 范围内,速度基本保持在 2 m/s 以下。也就是说,初始模型不太合理,不能有效利用腔体空间。

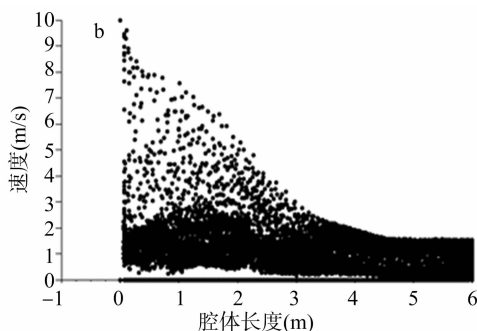
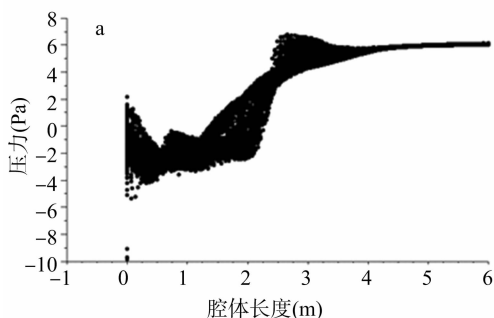


图2 流场的压力及速度分布

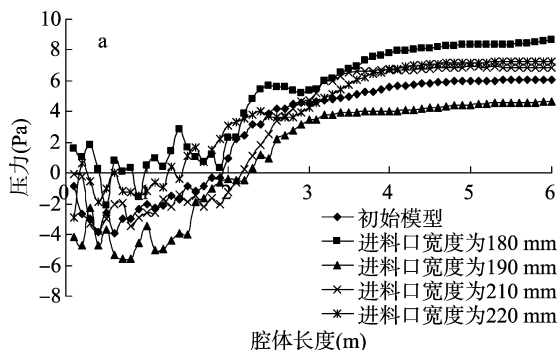
### 2.2 进料口宽度改变的模拟分析

送风口和进料口在腔体的侧面,且进料口在送风口的上面。初始模型进料口的宽度为 200 mm,在进料口长度不变的条件下,改变进料口的宽度,分析进料口宽度的变化对腔体内的流场分布有何影响,分别设置进料口的宽度为 180、190、210、220 mm。在初始模型腔体的中心线上每隔 100 mm 选 1 个点,共计选出 60 个点,计算出每个点所在面的压力和速度平均值,绘制成曲线,所绘制出的曲线图横坐标为腔体长度,单位为 m;纵坐标为相对大气压和流场速度,单位分别为 Pa

和 m/s,分析比较进料口宽度的改变对流场的压力分布和速度分布的影响。图 3 为进料口宽度变化时流场压力及流场速度沿着腔体长度的改变。

由图 3-a 可知,初始模型负压区的范围占整个腔体的 32% (1 900/6 000)。当进料口宽度为 180 mm 时,负压区范围明显减小,较其他工况小,只占腔体的 17% (1 000/6 000),且负压值变小,进入正压区后,压力大于初始模型的压力;当进料口的宽度为 190 mm 时,负压区范围明显增大,较其他工况负压范围大,占腔体的 38% (2 300/6 000),且其负压值大

于初始模型的负压值,进入正压区后,压力小于初始模型的压力;当进料口的宽度为 210 mm 时,负压区范围增大为腔体的 37% (2 200/6 000),且其负压值的大小与初始模型负压值大小一致,进入正压区后,在  $x > 3\ 000$  mm 范围内,压力大于初始模型的压力;当进料口宽度为 220 mm 时,负压区范围减小为腔体的 23% (1 400/6 000),且其负压值小于初始模型的负压值,进入正压区后,压力大于初始模型的压力值。



由图 3-b 可知,当改变进料口宽度时,无论是增加进料口宽度还是减小进料口宽度, $v > 6$  m/s 的范围和  $2$  m/s  $< v < 6$  m/s 的范围都减小了,不利于分离出粗棉秆,不能更好地利用腔体空间。且当进料口宽度减小为 190 mm 时, $v > 6$  m/s 的范围较其他工况小。

综上考虑进料口宽度改变对流场压力和速度的影响,得出结论:初始模型中进料口宽度为 200 mm 为合理工况。

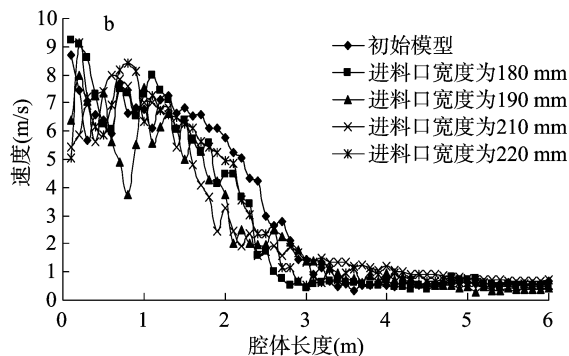


图3 进料口宽度改变压力及速度的模拟分析

### 2.3 进料口长度改变的模拟分析

初始模型进料口的长度为 400 mm,在进料口的宽度不变的前提下,改变进料口的长度,分别设置腔体长度为 380、390、410、420 mm,取点方法与前面相同,计算得到每个点所在面的压力以及速度平均值,绘制出曲线,分析比较进料口长度的改变对流场的压力分布和速度分布有什么影响。图 4 为进料口长度变化时流场压力及流场速度沿着腔体长度的改变。

由图 4-a 可知:初始模型负压区的范围占整个腔体的 32% (1 900/6 000),当进料口的长度为 380 mm 时,负压区范围为  $x < 1\ 200$  mm 和  $1\ 800$  mm  $< x < 2\ 400$  mm,负压区范围明显增大,占腔体的 30% (1 200/6 000 + 600/6 000),较其他工况大,但是在  $1\ 200$  mm  $< x < 1\ 800$  mm 范围内,压力为正值,即负压正压交替出现,压力值不稳定,进入正压区后,在  $x > 3\ 000$  mm 范围内,压力大于初始模型的压力,压力值变化幅

度大,不够稳定;当进料口的长度为 390 mm 时,负压区范围明显减小,占整个腔体的 25% (1 500/6 000),较其他工况小,不利于物料的进入,进入正压区后,压力与初始模型的压力一致,变化不大;进料口长度为 410 mm 时,负压区范围明显减小,较其他工况小,占腔体的 23% (1 400/6 000),且负压值小于初始模型的负压值,进入正压区后,压力变化不大;进料口长度为 420 mm 时,负压区范围与初始模型的负压值范围相近,负压值大小变化不大,进入正压区后,压力变化不大。

由图 4-b 可知,随着进料口长度的增加或减小,4 种工况下  $v > 6$  m/s 的范围都减小了,不利于分离出粗棉秆。当进料口的长度为 380 mm 时, $2$  m/s  $< v < 6$  m/s 的范围明显减小,较其他工况小,不利于分离出细棉秆;进料口的长度为 390 mm 和 410 mm 时, $2$  m/s  $< v < 6$  m/s 的范围减小;当进料口的长度为 420 mm 时, $2$  m/s  $< v < 6$  m/s 的范围基本与初始模型  $2$  m/s  $< v < 6$  m/s 的范围一致。

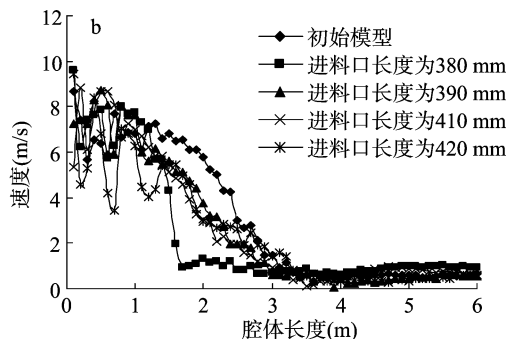
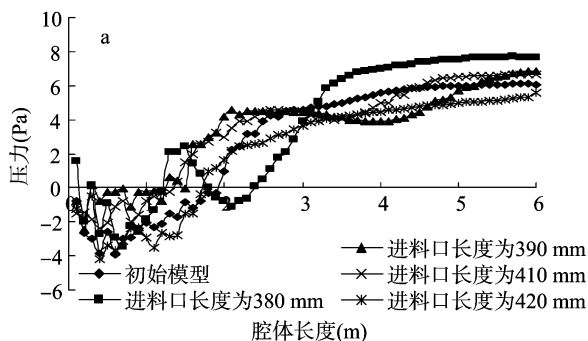


图4 进料口长度改变压力及速度的模拟分析

综上所述,当进料口长度为 400 mm 时(即初始模型),进料口长度较为合理。

### 2.4 进料口位置改变的模拟分析

初始模型进料口中心位置距腔体中心位置为 500 mm,送风口中心位置距腔体中心位置为 275 mm,保持送风口的位置不变,改变进料口的位置,分别把进料口上移 25、50 mm,下移

25、50 mm,即设置进料口中心位置距腔体中心位置分别为 575、600、524、500 mm,分析比较进料口位置的改变对腔体流场的压力和速度的影响。图 5 为进料口位置改变时流场压力及流场速度沿着腔体长度的改变情况。

由图 5-a 可知:初始模型负压区的范围占整个腔体的 32% (1 900/6 000),当进料口位置上移 25 mm 时,负压区范

围减小,占腔体的23%(1 400/6 000),较其他工况小,负压值变大且波动性明显变大,进去正压区后,在 $1\,400\text{ mm} < x < 2\,400\text{ mm}$ 范围内,压力呈明显的先增大后减小的趋势,波动性较大;当进料口位置上移50 mm时,负压区范围变小,占腔体的27%(1 600/6 000),且负压值变小,较其他工况小,不利于物料的进入,进入正压区后,在 $2\,000\text{ mm} < x < 3\,400\text{ mm}$ 范围内,压力小于初始模型的压力,在 $x > 3\,400\text{ mm}$ 范围内,压力大于初始模型的压力;当进料口位置下移25 mm时,负压区范围明显变大,占腔体的36%(2 200/6 000),且负压值明显变大,较其他工况大,进入正压区后,压力小于初始模型的压力;当进料口位置下移50 mm时,负压区范围减小,大约占腔体的27%(1 600/6 000),且负压值明显变小,较其他工况

小,进入正压区后,压力波动性较大。

由图5-b可知,当进料口位置上移25 mm时, $v > 6\text{ m/s}$ 的范围减小,且速度波动性较大, $2\text{ m/s} < v < 6\text{ m/s}$ 的范围较其他工况小,不利于分离出细棉秆;当进料口位置上移50 mm时, $v > 6\text{ m/s}$ 的范围减小,且速度波动性较大, $2\text{ m/s} < v < 6\text{ m/s}$ 的范围也减小;当进料口位置下移25 mm时, $v > 6\text{ m/s}$ 的范围与初始模型的范围相差不大, $2\text{ m/s} < v < 6\text{ m/s}$ 的范围变大了,较其他工况大;当进料口位置下移50 mm时, $v > 6\text{ m/s}$ 的范围与初始模型的范围相差不大, $2\text{ m/s} < v < 6\text{ m/s}$ 的范围变小了。

综上所述,当进料口位置下移25 mm时(即进料口中心位置距腔体中心位置为524 mm)为合理的工况。

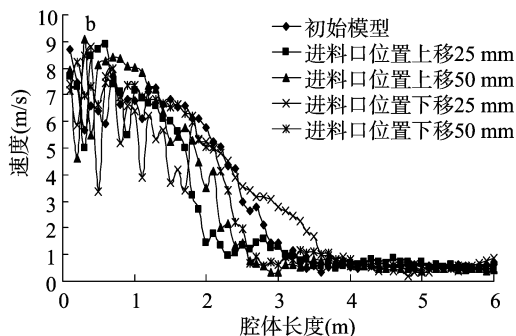
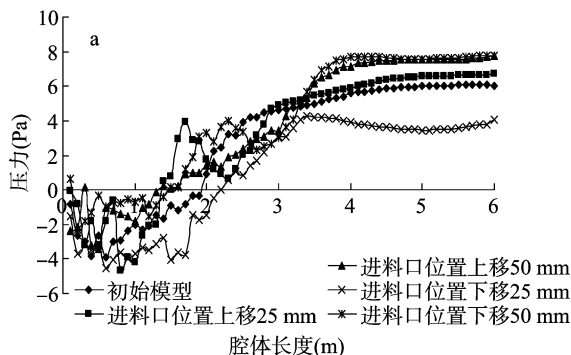


图5 进料口位置改变压力及速度的模拟分析

### 3 讨论与结论

当进料口宽度减小为180 mm或增大为220 mm时,负压区范围都减小了,且负压值减小;当进料口宽度为190 mm和210 mm时(在初始模型的进料口宽度附近增加或减小),负压区范围增大,且负压值增大。当改变进料口宽度时,无论是增加进料口宽度还是减小进料口宽度, $v > 6\text{ m/s}$ 的范围和 $2\text{ m/s} < v < 6\text{ m/s}$ 的范围都减小了。

在初始模型进料口长度的基础上,随着进料口长度的增大,负压区范围增大,负压值变大;随着进料口长度的增加或减小,正压区范围变化不大(进料口长度为380 mm的工况例外), $v > 6\text{ m/s}$ 的范围都减小了。

随着进料口位置的上移,负压区范围减小,且上移的距离越大,负压值越小,不利于物料的进入;随着进料口位置的下移,当下移距离不大时(下移距离为25 mm),负压区范围明显变大,当下移距离较大时(下移距离为50 mm),负压区范围反而减小。随着进料口位置的上移, $v > 6\text{ m/s}$ 的范围都减小,且速度波动性较大, $2\text{ m/s} < v < 6\text{ m/s}$ 的范围也都减小;随着进料口位置的下移, $v > 6\text{ m/s}$ 的范围与初始模型的范围相差不大,进料口位置下移时, $2\text{ m/s} < v < 6\text{ m/s}$ 的范围增大,但是下移位置过大(下移距离为50 mm)时, $2\text{ m/s} < v < 6\text{ m/s}$ 的范围反而减小。

研究表明,当进料口宽度为200 mm,进料口长度为400 mm,进料口中心位置距腔体中心位置为524 mm为合理工况。

### 参考文献:

- [1] 张杰,任小龙,罗诗峰,等. 环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2010(6):14-19.
- [2] 白丽婷,海江波,韩清芳,等. 不同地膜覆盖对渭北旱塬冬小麦生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(4):135-139,162.
- [3] 杨丽,刘佳,张东兴,等. 棉花苗期地膜回收机设计与试验[J]. 农业机械学报,2010(1):73-77.
- [4] 张江华,蒋平安,申玉熙,等. 新疆农田地膜污染现状及对策[J]. 新疆农业科学,2010,47(8):1656-1659.
- [5] Khan W S, Asmatulu R, Davuluri S, et al. Improving the economic values of the recycled plastics using nanotechnology associated studies[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2014, 30(9):854-859.
- [6] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报,2006,22(11):269-272.
- [7] 江燕,史春余,王振振,等. 地膜覆盖对耕层土壤温度水分和甘薯产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2014,22(6):627-634.
- [8] 王庆陵. 基于多相流技术的立式磨选粉性能分析与流场仿真研究[D]. 济南:济南大学,2012.
- [9] 韩彦杰. 固体热载体气力输送的数值模拟[D]. 昆明:昆明理工大学,2011.
- [10] 王锐. 浓相气力输送分支管道流动特性研究[D]. 济南:济南大学,2013.
- [11] 田虎楠. 梳齿式采棉机气力输棉系统的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2012.