

黄小英. 畜禽粪便固液分离器壁面磨损影响因素[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(21): 259–263.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.065

畜禽粪便固液分离器壁面磨损影响因素

黄小英

(新余学院机电工程学院, 江西新余 338000)

摘要:固液分离器在禽畜粪便分离工程中具有广泛的应用,但现有的固液分离器存在能耗高、使用寿命短、壁面磨损严重等问题。为了提高固液分离器的分离效率和使用寿命,采用颗粒轨迹的模型对固液分离器壁面磨损影响因素进行研究,获得了固液分离器壁面磨损的基本特征。分析了入口宽度、锥角、溢流管直径等结构参数对壁面磨损的影响。结果表明,入口宽度增加,壁面磨损率增加,入口环形空间壁面磨损区域显著增加;锥角增加,圆锥体壁面局部磨损率显著增加;溢流管直径主要影响环形空间壁面磨损发生位置;固液分离器壁面磨损形式主要为局部磨损。希望对固液分离器结构优化提供参考。

关键词:畜禽粪便;固液分离器;结构参数;壁面磨损;颗粒轨迹;影响因素;分离效率;使用寿命

中图分类号: S817.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0259-04

我国是农业生产大国,畜禽养殖业是我国农业领域的支柱产业,特别是近 2 年禽畜肉类价格上涨,国家出台了一系列相关扶持政策,使我国禽畜类养殖场数量激增,各地涌现出规模不同的养殖场,在一定程度上缓解了肉类价格,但同时也加剧了农村环境污染的问题。禽畜粪便及其浸出液是农村环境的主要污染源^[1-2]。选用固液分离器对养殖场粪水进行固液分离后,粪渣含水量可降至 65% 以下,且经脱水的粪便不再具有难闻味道,处理后的粪渣稍加风干并掺入适量的氮磷钾肥,就可以制成复合有机肥。但是,大型养殖基地的禽畜粪便往往含有一些固体颗粒,实际应用过程中,壁面磨损问题严重降低了分离器的分离效率和使用寿命,阻碍了分离器的发展^[3-4]。因此,对固液分离器的壁面磨损问题进行研究有着重要的工程应用意义。固液分离器的壁面磨损是一个复杂的冲蚀磨损现象,黄俊龙等采用雷诺应力模型和离散模型对固液分离器的磨损位置进行研究,表明底流口附近区域的磨损最严重^[5]。王建军等对分离器的磨损机制与磨损规律进行研究,表明分离器内泥浆的旋转速度和切向分速度是造成分离器壁面磨损的主要原因^[6]。曹晴云等提出了预测旋流器内壁磨损部位的公式^[7]。但是,对于固液分离器结构参数与壁面磨损率、磨损特点、磨损分布之间的关系缺乏足够的理论认识。本试验采用颗粒轨迹的模型对固液分离器壁面磨损影响因素进行研究,获得了固液分离器壁面磨损的基本特征,分析了入口宽度、锥角、溢流管直径等结构参数对壁面磨损的影响,为今后旋流分离器的防磨措施和结构设计提供参考。

1 固液分离器内壁磨损的计算

1.1 固液分离器的物理模型

采用长锥形单入口直切式固液旋流分离器,进口截面选择

矩形截面。与圆形进口相比,矩形截面入口湍流影响更弱,能量消耗更低,能够产生切向注入效果,其结构参数如表 1 所示。

表 1 固液分离器结构参数

参数	尺寸	参数	尺寸
圆筒长度(mm)	345	进口长度(mm)	175
旋流器直径(mm)	300	底流口直径(mm)	45
锥角(°)	18	溢流管直径(mm)	65
溢流管插入深度(mm)	195	进口宽度(mm)	55
溢流管外端长度(mm)	145	进口高度(mm)	75

1.2 颗粒轨迹的模型计算

将颗粒当作离散相,流体作为连续相,采用随机轨道模型(DPM)进行粒子轨迹分析,颗粒运动轨迹通过粒子作用力微分方程进行求解,如下式所示。

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x; \quad (1)$$

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho d_p^2} \frac{C_D Re}{24}; \quad (2)$$

$$Re = \frac{\rho d_p |u_p - u|}{\mu}; \quad (3)$$

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re} + \frac{a_3}{Re^2}. \quad (4)$$

式中: F_x 为 x 方向上的合力, N ; t 是时间; F_D 为颗粒受到的拖拽力, N ; a_1 、 a_2 、 a_3 为拖拽力系数特征因子; g_x 为 x 方向上的重力加速度, m/s^2 ; C_D 为曳力系数; Re 为相对雷诺数; d_p 为颗粒直径, m ; ρ_p 为颗粒密度, kg/m^3 ; ρ 为流体密度, kg/m^3 ; μ 为流体动力黏度, $Pa \cdot s$; u_p 为颗粒速度, m/s ; u 为流体速度, m/s 。

1.3 边界条件的设定

颗粒以射流源面的方式进入固液分离旋流器,粒子采用平均粒径为 60 μm 、密度为 2 700 kg/m^3 的石英砂。入口粒子质量流率为 11.5 g/s ,颗粒密度设置为 3.5 kg/m^3 ,认为颗粒均匀分布在进口网格上,粒子质量不发生改变。同时,粒子之间没有热传递,粒子与液相的速度相同。粒子在溢流管口为完全逃逸,底流口粒子为捕捉边界条件。采用 Fluent 中的压

收稿日期:2018-02-27

基金项目:江西省教育厅科学技术研究项目(编号:161191)。

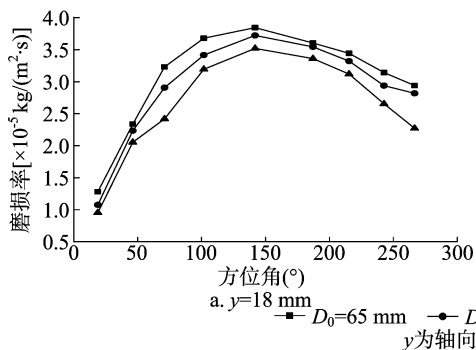
作者简介:黄小英(1966—),女,江西丰城人,硕士,副教授,研究方向为机械设计与制造。E-mail:xyhxy0258@163.com。

力基算法隐式求解器,计算过程中认为速度在横截面上均匀分布,入口为充分发展湍流;流体采用常温状态下的清水,入口速度为 $u = 14 \text{ m/s}$ 。液相出口边界条件选择自由出口,将溢流管路加长到内径的 10 倍左右,以确保充分发展流成立。壁面通过标准壁面函数处理近壁网格区域,液相流场为无滑移边界条件,利用碰撞恢复系数方程对壁面与粒子之间的作用进行描述。

2 结构参数对壁面磨损的影响

2.1 溢流管直径的影响

溢流管直径对分离器壁面的磨损有重要作用,其为颗粒出口通道。在其他条件不变的情况下,选取 65、90、115 mm 3 种溢流管直径(D_0),对固液分离器壁面磨损情况进行研究。



溢流管直径对入口环形空间壁面磨损的影响如图 1 所示。溢流管直径改变时,不同轴向位置沿圆周方向入口环形空间壁面磨损率先增大后减小,磨损率分布趋势基本一致;增大溢流管直径时,方位角在 $18.80^\circ \sim 46.15^\circ$ 之间,壁面的磨损率差异较小,随着方位角的增大,壁面磨损率都有不同程度的增大,其中方位角 $101.71^\circ \sim 141.88^\circ$ 之间区域磨损较为严重。不同轴向位置的最大磨损范围有所不同,轴向位置(y) 18 mm 处,壁面最大磨损范围较大;当溢流管直径从 65 mm 增大到 115 mm 时,轴向位置 36 mm 处壁面磨损率明显下降。随着溢流管直径的减小,最大切向速度不断增大,流体的流动特性发生较大改变,增加了壁面与粒子的碰撞能量,导致壁面磨损增加。同时,随着溢流管直径的减小,流体的约束作用减小,使得最大磨损率的方位角增大。

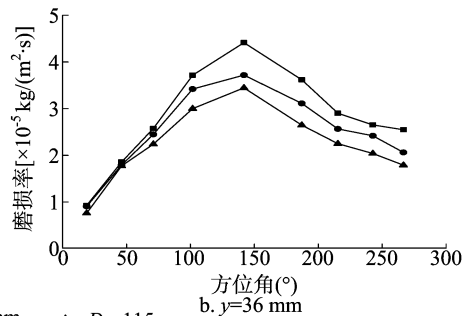


图1 溢流管直径对环形空间壁面磨损的影响

溢流管直径变化时,分离空间圆筒体壁面磨损率变化如图 2 所示。可以看出,不同溢流管直径条件下,沿轴向位置圆筒体壁面磨损率的变化趋势有所差别。随着溢流管直径的增大,圆筒体下部分壁面磨损率的最大值不断减小,而上部分壁面磨损率基本不随溢流管直径的改变而改变。溢流管直径由 90 mm 增加 115 mm 时,有明显的波谷和波峰,磨损率分布趋

势基本没有改变,但随着溢流管的直径减小,波谷和波峰之间的间距减小,磨损带宽度有所增大。溢流管直径减小,筒体区域的最大切向速度增加,固体颗粒在下行流区形成螺旋高速旋转下行的颗粒带。同时,旋转离心力的作用增加了壁面区域固体颗粒的密度。溢流管直径较小时,筒体空间的固体颗粒容易形成“灰环”,造成壁面局部严重磨损。

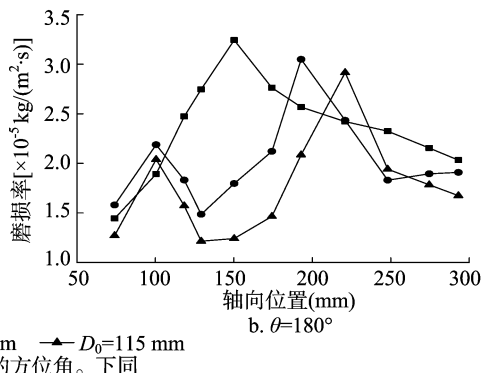
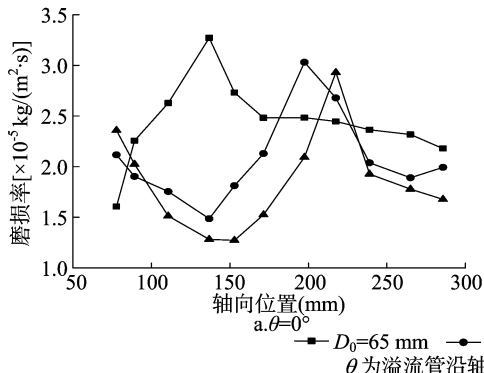


图2 溢流管直径对圆筒壁面磨损率的影响

溢流管直径变化时,不同圆周方向圆锥段壁面磨损率变化如图 3 所示。不同溢流管直径条件下,圆周方向圆锥段壁面磨损率先增大后减小,但是最大磨损率的位置和最大磨损率有所差异。整体来看,沿圆周方向壁面磨损分布并不均匀,底流口附近壁面磨损最严重。随着溢流管直径的增大,圆锥体上部分壁面磨损率变化较小,而下部分壁面磨损率不断减小。随着溢流管直径的增大,圆锥段的切向速度明显减小;同时,溢流管直径增大后,流体旋转速度有所减小,中心涡的摆幅变小,湍流程度下降,进而降低了壁面与固体颗粒的接触概

率和作用能量,使圆锥段的壁面磨损率明显下降。

2.2 锥角对壁面磨损的影响

作为分离器的重要结构参数,锥角对旋流器内部压力降和流动阻力有较大影响,进而对旋流分离器的磨损有重要作用。锥角分别取 4° 、 8° 、 12° 、 16° 来研究锥角对分离器壁面磨损的影响。锥角对入口环形空间壁面的磨损率的影响如图 4 所示。可以看出,在其他结构不变的情况下,旋流分离器锥角的改变对入口环形空间的影响较小。锥角发生变化时,沿圆周方向不同轴向位置壁面的磨损率先增大后减小,变化趋势

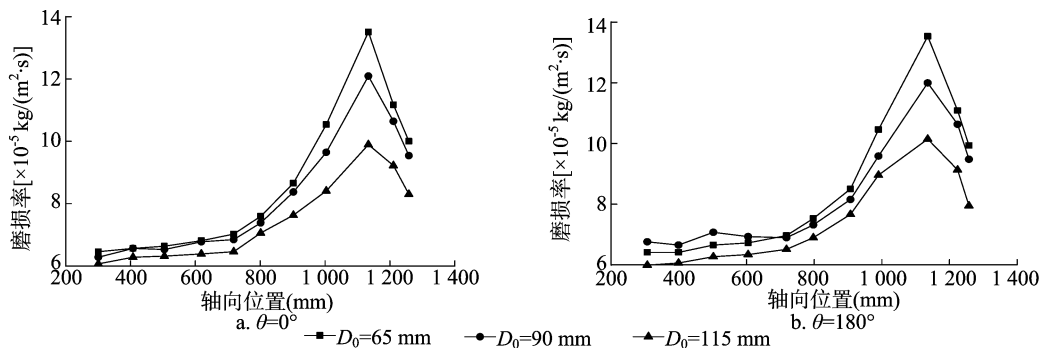


图3 溢流管直径对圆锥段壁面磨损率的影响

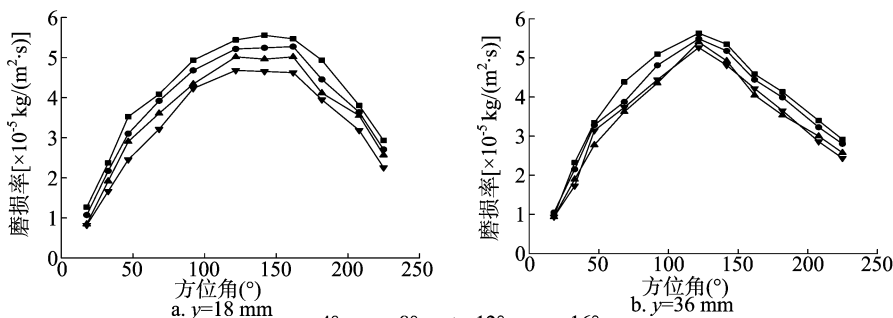


图4 锥角对入口环形空间壁面磨损率的影响

基本一致。不同锥角条件下,最大磨损率均出现在 $120^\circ \sim 160^\circ$ 之间,且磨损率变化较小。随着锥角的增大,同一轴向位置入口环形空间的壁面磨损率不断降低,但变化幅度较小,轴向位置 36 mm 处曲线有部分重合区域,表明磨损率变化更加明显。主要由于环形空间磨损以冲击磨损为主,旋流分离器锥角发生变化并没有改变流体的流动特性,不会引起环形空

间速度分布的变化,固体颗粒对壁面的作用位置和形式并未改变。因此,对入口环形空间壁面磨损的影响也较小。

不同锥角条件下,沿着轴向方向旋流分离器圆筒体壁面磨损率的变化情况如图 5 所示。可以看出,圆筒体区域壁面磨损率呈“波形”曲线分布,变化趋势基本不变,均出现明显的波谷和波峰,主要与固体颗粒的高速螺旋运动有关。

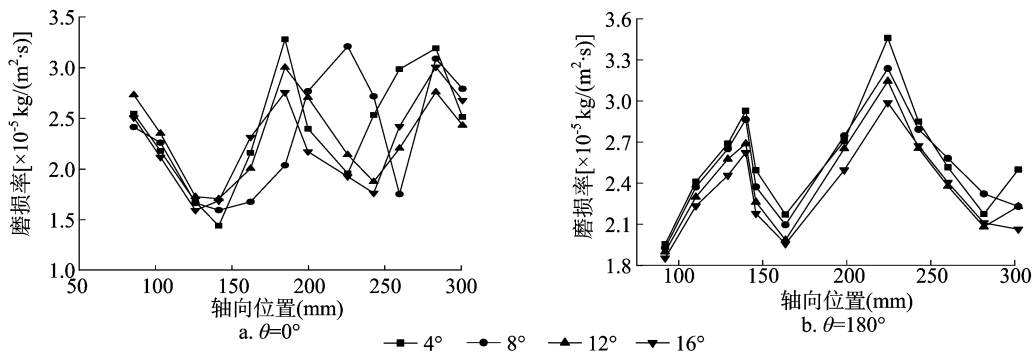


图5 锥角对圆筒体壁面磨损率的影响

不同锥角条件下,沿着轴向方向旋流分离器圆锥体壁面磨损率的变化情况如图 6 所示。可以看出,锥角改变时圆锥段的磨损分布变化较小,磨损最大值均出现在底流口,沿轴向方向锥体段由上到底流口磨损程度先增大后减小。随着锥角的增大,轴向位置 911 ~ 1 231 mm 之间,壁面磨损率不断减小;轴向位置 320 ~ 870 mm 之间壁面磨损率变化较小。

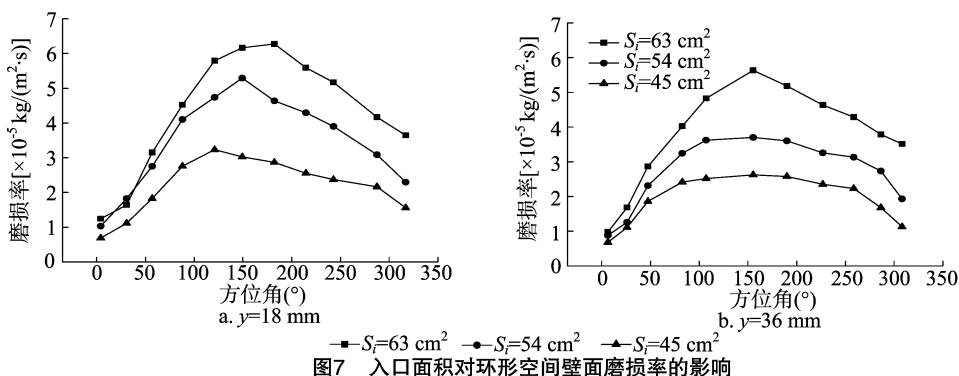
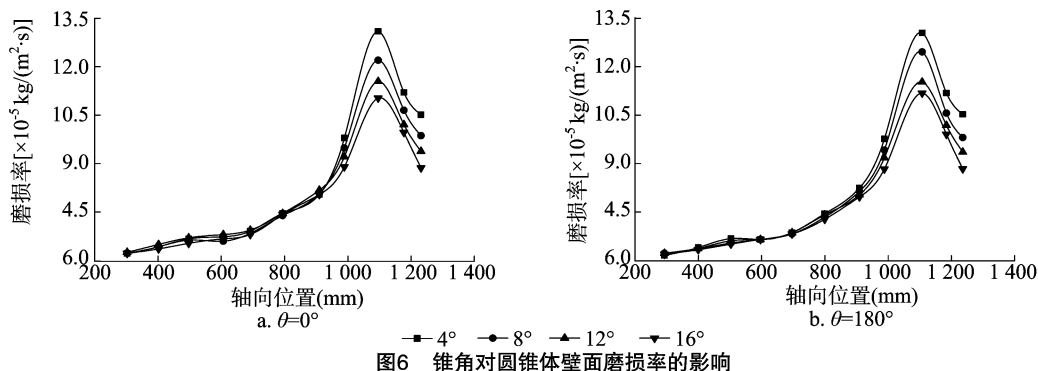
在入口压力不变的情况下,锥角变小时,底流口上方湍流程度增强,中心涡核扭摆增大,颗粒重新卷扬返回分离空间,增加了壁面的破坏程度;增大锥角会引起旋流分离器内流体阻力变大,旋流分离器切向速度降低,在旋流器内部粒子时间停留较短,壁面的磨损程度减缓。圆锥段下部分内旋流占主导,锥角减小,颗粒的旋转速度增大,锥体缩口作用增强,增加

了对壁面的作用次数,导致磨损破坏程度增大。

2.3 入口面积对壁面磨损的影响

入口面积分别选取 $S_i = 45, 54, 63 \text{ cm}^2$, 不同入口面积条件下,分离器入口环形空间壁面磨损率的分布情况如图 7 所示。入口面积对最大磨损率以及磨损严重区域的影响较大,沿圆周方向壁面磨损率均表现为先增大后减小,整体分布趋势比较接近。同时,不同的轴向位置磨损率也不相同, $y = 18 \text{ mm}$ 和 $y = 36 \text{ mm}$ 时,磨损最严重区域分别位于 $120.89^\circ \sim 182.32^\circ, 107.11^\circ \sim 226.79^\circ$ 之间。

入口面积对圆筒体、圆锥体壁面磨损率的影响,分别如图 8、图 9 所示。可以看出,随着入口面积的增大,相同轴向位置的壁面磨损率有所增大;入口面积对圆周方向圆筒体和

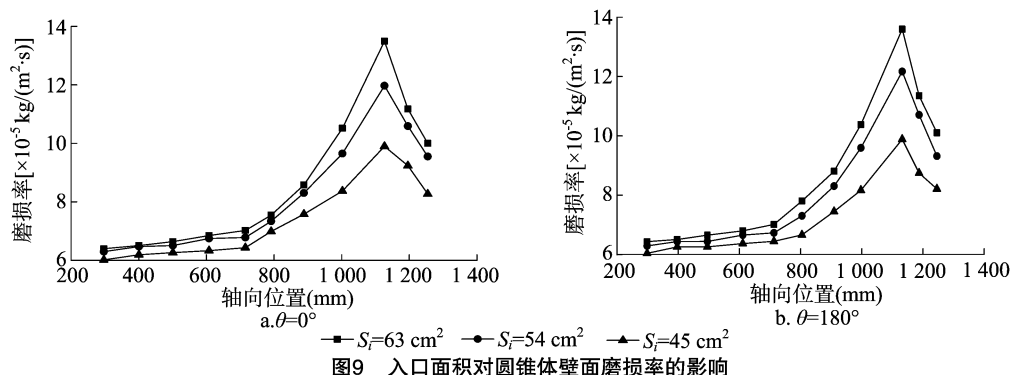
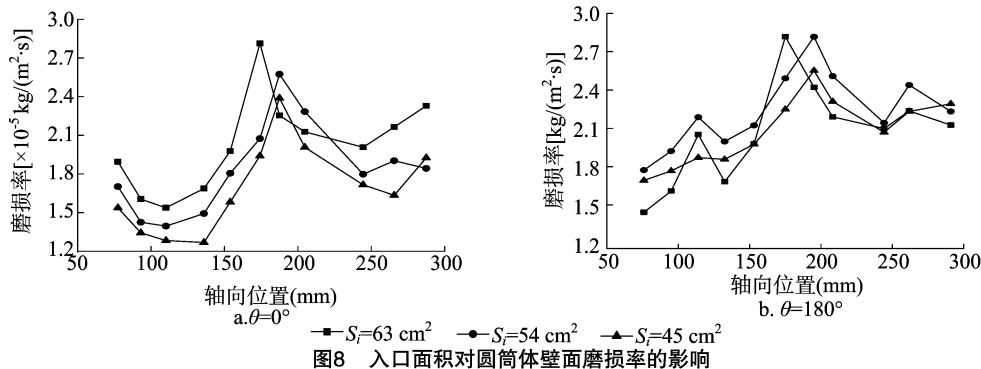


圆锥体壁面磨损趋势的影响较小;圆筒体壁面的磨损程度受入口面积的影响稍大于圆锥体壁面,随着入口面积的改变,圆筒体壁面最大磨损区域发生了改变。入口面积的改变对圆锥体壁面最大磨损率的位置和磨损率的整体变化趋势几乎没有影响,但磨损严重区域呈局部磨损分布。进口速度和其他结构参数不变,增大旋流分离器入口面积,内部液相流的湍动程度加剧,颗粒携带的能量增大,碰撞壁面的

能量和概率加大;入口面积减小能够降低壁面的破坏程度,但会导致分离效率降低。因此,不能盲目地通过减小入口面积来降低壁面磨损。

3 结论

为了提高固液分离器的分离效率和使用寿命,采用颗粒轨迹的模型对固液分离器壁面磨损影响因素进行研究,获得



刘光辉,喻丽华,陈雪,等. 背负式大窝深栽成穴机设计与试验[J]. 江苏农业科学,2018,46(21):263-267.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.066

背负式大窝深栽成穴机设计与试验

刘光辉¹, 喻丽华¹, 陈雪², 张富贵¹, 符德龙², 黄化刚², 吴雪梅¹

(1. 贵州大学机械工程学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州省烟草公司毕节市公司, 贵州毕节 551700)

摘要:针对目前春旱烟区控制移栽大窝劳动强度大、效率低、窝穴质量难以满足要求等问题,设计开发了一种可实现机械化挖穴的背负式大窝成穴机。基于成穴机工作原理分析,完成了关键部件设计,并在威宁县烟草公司科技园进行样机田间测试,结果表明,成穴机所制窝穴的窝顶深均值为 15.5 cm,窝侧深均值为 14.5 cm,窝口径均值为 31.0 cm,窝穴合格率达到 70%。田间性能指标均达到行业标准,试验结果满足农艺要求,可以完成大窝成穴作业。

关键词:烟苗移栽;大窝;成穴机;设计;试验

中图分类号: S223.1⁺9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0263-05

烟苗大窝深栽是我国广大南方烟区为适应移栽期低温少雨而广泛采用的一种移栽方式。研究表明,大窝深栽能有效提高地温,抗旱保墒,改善光照条件,提高土壤肥力,减少病虫害,为烟苗的早期生长提供一个良好的环境^[1-2]。实施烟苗大窝深栽不仅缩短了还苗期和栽培的成活率,同时也是春旱烟区提高烤烟产量与质量、实现增产增收的一种移栽技术^[3]。大窝深栽技术的关键是控制移栽的大窝,目前制窝作业一般是由人工用锄头控制,人工制窝劳动强度大、效率低,所制窝穴一致性差,难以满足现代烟草生产要求。开展烟苗大窝深栽成穴机具研发,突破大窝深栽机械化成穴技术的瓶颈,不仅是大窝深栽技术发展的需要,同时也是减轻移栽劳动强度,实现省工降本及烟农增产增收的迫切需求。目前未见大窝深栽成穴机具相关研究文献,本研究从大窝深栽技术要

求及提高制窝效率出发,研发一种背负式大窝深栽成穴机,并进行相关试验研究,以期为大窝深栽机械化成穴的推广应用提供一定的理论支撑与技术指导。

1 大窝深栽技术

大窝深栽技术属于膜下小苗移栽方式,是垄表下移栽技术的一种,图 1 为大窝深栽技术示意,其主要特点是在垄上先挖窝穴,施完底肥后将烟苗移栽到窝穴内,之后覆盖上地膜,将窝心膜划破 1 个小孔,再将小苗掏出,用土壤压膜固苗^[4]。农艺要求为保留烟苗膜下的生长空间,窝口径为 20~25 cm,窝深为 15~20 cm,移栽完成后及时盖膜,为确保烟苗有足够的生长空间,地膜与烟苗顶部确保有 6 cm 以上的距离^[5]。

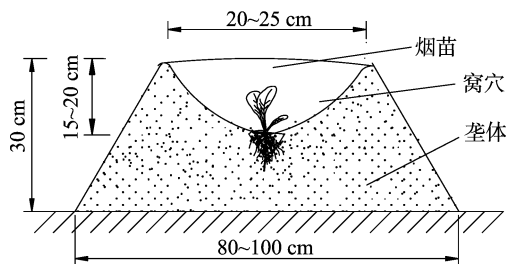


图1 大窝深栽技术示意

收稿日期:2017-06-08

基金项目:贵州省科技重大专项[编号:黔科合(2014)6015];贵州大学博士基金[编号:贵大人基合(2015)48号];贵州省科学技术厅、贵州大学联合资金[编号:黔科合 LH 字(2016)7435号];贵州省烟草公司毕节市公司项目(编号:201652050024149)。

作者简介:刘光辉(1991—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事农业机械研究。E-mail:969288154@qq.com。

通信作者:喻丽华,博士,高级实验师,主要从事先进制造技术及装备、小型农机具研究及其开发应用。E-mail:yulihua01@163.com。

了固液分离器壁面磨损的基本特征。研究表明,固液分离器壁面磨损形式主要以局部磨损为主。锥角增加,旋流分离器壁面磨损率最大值也会增加,在底流口附近变化最明显;圆锥体区域壁面磨损率有不同程度的增加。溢流管直径增大,最大磨损率出现的位置有所改变,出现了磨损环形。入口面积增大,磨损严重区域面积变宽,入口环形空间壁面磨损率增大。希望对今后旋流分离器的结构优化和设计提供参考。

参考文献:

- [1] 杨柏松,关正军. 畜禽粪便固液分离研究[J]. 农机化研究, 2010,32(2):223-225,229.
- [2] 黄小洋,管永祥,吴昊,等. 江苏省太湖流域规模畜禽场粪污处

- 理典型模式分析[J]. 江苏农业科学,2014,42(3):298-300.
- [3] 林于廉,王静,晏鹏,等. 主要结构参数对污泥淤砂分离器分离效能的影响[J]. 给水排水,2015,51(5):141-146.
- [4] Masse L, Mondor M, Dubreuil J. Membrane filtration of the liquid fraction from a solid-liquid separator for swine manure using a cationic polymer as flocculating agent[J]. Environmental Technology, 2013,34(5):671-677.
- [5] 黄俊龙,谢朝新,周宁玉,等. 固-液旋流分离器结构优化模拟研究[J]. 后勤工程学院学报,2012,28(1):45-49,55.
- [6] 王建军,杨风允,金有海. 结构参数对双蜗壳型旋风分离器内流场分布的影响[J]. 流体机械,2011,39(3):5-9.
- [7] 曹晴云,姬广勤,金有海,等. 不同结构参数下旋风分离器气相流场的数值研究[J]. 流体机械,2008,36(6):34-38.