

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.11.012

沼液沼渣暗灌施肥机设计与试验*

李文哲 袁 虎 刘宏新 王 明 李文涛 殷丽丽

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 沼液沼渣既是速效与迟效兼备、速效多于迟效的有机肥, 又是防治病虫害的无污染、无残毒、无抗药性的“生物农药”。但由于没有沼液沼渣这种液态沼肥的机械化施肥技术和装备, 无法施用于田间。同时, 由于大中型沼气工程缺乏沼液沼渣的消纳途径, 制约了沼气产业的发展。为此本文设计出一种液态沼肥暗灌施肥机械, 该机械采用分配器对沼肥进行分配和防堵, 一次进地能完成开沟、松土、施肥、起垄及镇压多道工序, 减少了拖拉机及罐车进出耕地的次数。同时分析了分配器中沼液沼渣在管道中的流动性, 发现其能集中沼液沼渣从总管到分管的瞬时流体能量。最后对施肥机进行了田间试验, 结果表明所设计机具通过拖拉机配套牵引能进行沼肥运输、抽排工作。

关键词: 沼液沼渣 暗灌施肥 施肥机械 分配器 施肥铲

中图分类号: S224.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0075-06

引言

伴随沼气产业的迅速发展, 沼液沼渣的处理和利用成为人们必须面对和解决的迫切问题。沼液沼渣处理不当, 不但影响沼气工程的正常运行, 而且可能造成二次污染^[1]。目前采用湿法厌氧发酵的沼气工程大多以畜禽粪便或混入少量秸秆为原料, 这些原料在厌氧发酵过程中所产气体的主要成分为 CH_4 和 CO_2 , 其他营养成分如N、P、K及各种矿质均未损失, 加之微生物生长繁殖、新陈代谢和分解释放大量的有机、无机酸盐等可溶性物质, 同时大量繁殖的细菌死亡后释放出各种生物活性物质, 包括生长素、维生素、核苷酸等, 所以经厌氧发酵后的沼液沼渣的植物营养有增无减。另外, 沼液沼渣中的丁酸和植物激素中的赤霉素、吡啶乙酸以及维生素 B_{12} 对病菌有明显的抑制作用, 沼液中的氨和铵盐, 某些抗生素对作物的虫害有着直接杀灭作用。所以, 沼液沼渣既是速效与迟效兼备、速效多于迟效的有机肥, 又是防治病虫害的无污染、无残毒、无抗药性的“生物农药”^[2-12]。但由于没有类似沼液沼渣这种液态沼肥的机械化施肥技术和装备, 沼肥虽好却无法施用于田间。

国外沼液沼渣的田间施肥技术与装备比较发达, 如捷克、瑞典、澳大利亚、加拿大、日本等国, 大型沼气工程都配有沼液沼渣运输与施肥机械, 施肥方式主要有喷洒在耕地或草原的地表和耕地暗灌施肥^[13-15], 两种施肥方式将沼气工程、生态农业、有机

栽培较为完美地结合在一起。

本文针对大型沼气工程对沼液沼渣的消纳以及生态农业循环经济对沼液沼渣肥料化利用的需求, 研究一种液态沼肥暗灌施肥机械, 该机械具有沼液沼渣抽装、运输以及田间深松、暗灌、起垄等功能。

1 沼液沼渣物性参数测定

厌氧发酵剩余物称为沼液沼渣, 直接将其肥料化利用时又称为沼肥, 主要包括微生物及其代谢产物、不溶于水但是和水混合在一起的浆状物质, 还有小部分不溶于水且经过聚集和沉淀形成的沉积物。其外观感觉为粘性较大的浆状流体, 属于非牛顿流体, 其流体流动过程中粘度和剪应力不满足牛顿内摩擦定律。因此, 用表观粘度来表征沼液沼渣流体的粘性, 并采用型号为NDJ-8S粘度计测定。其物性参数主要有总固体质量分数、密度、运动粘度, 测定结果如表1所示。

表1 沼液物性参数测定表

Tab.1 Determination of physical parameters of biogas slurry

沼液沼渣总固体 质量分数/%	密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	运动粘度 /($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
2	0.99	1.006×10^{-5}
4	1.01	2.653×10^{-5}
6	1.02	2.395×10^{-4}
8	1.03	8.365×10^{-4}
10	1.05	1.46×10^{-3}

收稿日期: 2013-12-13 修回日期: 2014-01-22

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD15B04)

作者简介: 李文哲, 教授, 博士生导师, 主要从事生物质转化与利用研究, E-mail: liwenzhe9@163.com

2 沼液沼渣施肥机械设计方案

2.1 设计要求

沼液沼渣总固体质量分数(TS)一般为2%~10%(表1),由于微生物的繁殖代谢和分解,表观感觉沼液沼渣是一种较为粘稠的浆状流体,如果是牛粪或粪便与秸秆的混合物为原料发酵的沼液沼渣,还含有10~50 mm长短不等的未降解的植物纤维。所以在研究过程中必须解决两个难点问题:一是流量控制,确保行走速度与施肥流量协调,并满足耕地的施肥量要求,由于有固体物和纤维的存在,势必影响阀门的打开和关闭,可能还影响输送泵的正常工,对流量的准确控制造成影响;二是防止堵塞,阀门以及分配器等有局部阻力的地方,容易形成固体物的沉积以及纤维的絮集而造成堵塞,所以防止堵塞是必须解决的问题。对于单一液相流体的流量控制,通过电动阀门等控制和执行元件可以容易地实现,但对于沼液沼渣这种比较复杂的混相流体必须采取相应的防堵和控制措施。另外,还要结合农艺耕作要求,完成相应的田间作业,为此,提出以下设计要求:

(1) 沼液沼渣输送罐车采用牵引式,罐车底盘要有足够的类似田间地埂等非硬化道路的通过能

力,尽量减少轮胎的接地压强,防止轮胎在耕地表面过度下陷。罐车前部应配置牵引台、后部配置农具悬挂装置以便悬挂施肥装置,罐车和施肥装置构成液态沼肥暗灌施肥机。

(2) 拖拉机牵引施肥机一次进地能完成松土、施肥、起垄和镇压等多个功能,减少罐车和拖拉机进出耕地的次数。

(3) 沼液沼渣罐车应配置用于装罐、施肥的动力系统,装罐时的抽吸扬程应在5 m以上,抽吸流量为 $60 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上。

(4) 从罐车施肥总管到各施肥分管的分配要均匀稳定,不能出现堵塞现象,并能根据农艺要求控制施肥量,总施肥量为 $30 \sim 75 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

(5) 作为底肥施用,确保施肥在整个耕层之内,即15~20 cm的深度,施肥后能将肥料用土壤完全覆盖,确保沼肥在土壤中扩散,防止肥料中氮的挥发造成肥效下降。

2.2 沼液沼渣暗灌施肥机的组成及工作原理

2.2.1 基本组成

沼液沼渣暗灌施肥机主要由罐车和施肥装置两部分组成。施肥装置如图1所示,主要由机架、开沟施肥铲、起垄装置(根据需要选配)、镇压装置、分配器及输送管组成。

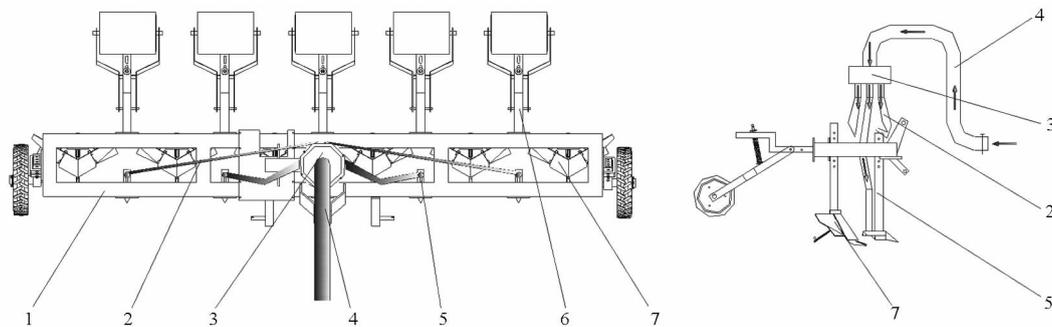


图1 施肥机结构简图

Fig.1 Structure diagram of fertilizer applicator

1. 机架 2. 分管 3. 分配器 4. 总管 5. 施肥铲 6. 镇压器 7. 起垄器

2.2.2 工作原理

暗灌施肥装置(图1)作业时悬挂在沼液罐车后面,配置在罐车上的抽排泵将沼液沼渣通过总管送到分配器,分管接分配器的多个出口上,通过分管将沼肥送到固定在施肥铲上的施肥管内,施肥铲在起到一定深松的同时将沼肥排入沟槽底部完成施肥,由于施肥铲没有翻土功能,土壤自然回落将沼肥覆盖,施肥的同时可进行起垄(根据需要)、镇压。土壤镇压有利于保墒和减少风蚀,镇压力通过弹簧进行调节。结合垄作施肥及不同施肥深度的要求采用4种不同类型的施肥铲,以适应不同的垄作要求。

3 沼液沼渣施肥装置关键部件设计

3.1 分配器

3.1.1 分配器结构设计

分配器是将总管中的沼液沼渣均匀稳定地分配到各个分管中,其外形结构如图2所示。从罐车到分配器的总管内径为100 mm,设计为5垄施肥,由连续性方程可以得出分配器出口和分管内径应为45 mm,为了增加分配器的内部压力以防止堵塞,分管的实际设计内径为36 mm,以便在分配器到分管出口之间形成二次压差,提高液态沼肥流入土壤的可靠性。

根据实验得知,管路堵塞主要发生在分配器内

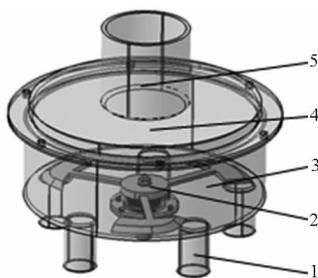


图 2 防堵型分配器结构图

Fig. 2 Structure diagram of anti-blocking distributor

1. 分管 2. 转子 3. 壳体 4. 盖 5. 总管

部,为此在分配器中设置了 1 个转子,根据分配器出口数量在转子上设置 3 个圆弧型封阻片,转子由小功率减速电动机驱动,转速约为 90 r/min。它主要起到 3 个功能:①高压脉冲防堵功能,转子在转动时通过合适的相位设计使分配器内任意时刻有 2 个分管处于瞬间封阻状态(图 3),从而减少分配器流出的流通面积,给不封阻的分管以瞬间脉冲高压,防止沼液沼渣在施肥管内或施肥出口处堵塞。②搅拌防堵功能,转子在转动过程中对分配器内部沼肥起到搅拌作用,防止固形物在分配器内边缘沉积而造成堵塞,同时还可保证各分管沼肥总固体含量的均匀性。③管口边缘清扫防堵功能,弧形封阻片不断扫过分配器出口,防止纤维类物质在各分出口处絮积堵塞分管。

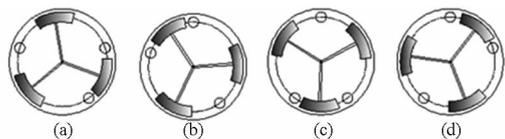


图 3 防堵型分配器相位示意图

Fig. 3 Structure diagram of anti-blocking distributor

(a) 初始 (b) 转过 24° (c) 转过 48° (d) 转过 72°

分配器转子分配相位如图 3 所示。分配器有 1 个进口 5 个出口,为了防止堵塞,在分配器中加装了一个转子,转子上有 3 个封阻片均匀分布在内腔中。相邻分管口相位角为 72°,封阻片的相位角为 48°,从而保证不论转子处于任何位置都有 2 个分管被封堵。被封堵的 2 个分管其中一个处于刚被封阻、另一个分管处于即将打开的状态,每转过 24°,即将打开的分管口打开,同时上一个处于封阻状态的进入即将打开,与其相差 144°的另一个管口进入被封阻状态。这一过程随转子的转动周而复始地进行,任意时刻 5 个分管口有 2 个不相邻的分管口被封阻片封阻,同时有 3 个分管口被打开。对于单个分管口来说,以 120°为一个周期,在一个周期内有 72°是处于开口流通状态,48°处于封闭状态。当分管口从开口变成封闭状态时,原来要从分管口流通的流体中动能转变成压力转移到其他的分管口,因此从能量角度来看,转子的作用是让分管中流体从

连续流变成间断流,使每个间断流体的能量更加集中,在分管中形成周期性脉动,冲击发生局部阻力的部位,防止固相物蓄积造成堵塞。转子的转速为 90 r/min,单个分管的封阻时间为 0.06 s,封阻在瞬间完成,加之液态沼肥自身的流动性,封阻作用不影响施肥的均匀性。

3.1.2 分配器中沼肥在施肥管道流动性分析

沼液沼渣在管道中的流动状态取决于沼液沼渣的总能量和管道结构。沼液沼渣在管道中的能量损失主要包括由结构引起的速度变化带来的局部损失和管道中由内摩擦带来的沿程损失。

对于防堵型分配器,其中沼液沼渣流场复杂,难以计算出各个分管的瞬时压力和流速。但是压力和流量呈周期性变化,封口时间短。在封口的瞬间,该分管口的流体的动能转变为系统的压强能,同一时间另一个分管口打开,系统的压强能转变为新开口处流体的动能,瞬时脉冲高压以压力波传递,能量传播速度快。因此,将该分配器中流体等效看作是三开口的稳定流体。依此对各管道速度大小和方向发生改变前的截面处建立伯努利方程组,联立得

$$z_6 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} + \sum h_f + \sum h_j \quad (1)$$

$$\text{其中 } \sum h_f = \frac{32\mu l_1}{\rho g D^2} v_1 + \frac{32\mu l_2}{\rho g d^2} v_2 \quad (2)$$

$$\sum h_j = (3\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) \frac{v_1^2}{2g} + \xi_4 \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

式中 z_6 ——分管出口处高度 z_1 ——总管入口处高度 p_1 ——总管入口处压力 p_2 ——分管入口处压力 v_1 ——总管流速 v_2 ——分管流速 D ——总管内径 d ——分管内径 α ——速度修正系数 ρ ——沼液密度 h_j ——局部水头损失 g ——重力加速度 h_f ——沿程水头损失 μ ——摩擦因数 ξ ——局部损失系数 l_1 ——总管长度 l_2 ——分管长度求得 $\sum h_f = 0.078 \text{ m}$, $\sum h_j = 1.42 \text{ m}$ 。

沼肥在管道中的流动主要靠压强能和动力势能,若将流体的压强能和动力势能转变为水头,称为各个截面的流体的能量水头,则可得到流体在管道的流体能量。

总管入口处流体能量水头

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{g} = 21.1 \text{ m} \quad (4)$$

分管入口处流体能量水头

$$\frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{g} = 29.39 \text{ m} \quad (5)$$

分管出口处流体能量水头

$$\frac{p_2'}{\rho g} + \frac{v_2'^2}{g} = 30.33 \text{ m} \quad (6)$$

式中 p_2' ——分管出口处压力

由上可知,沼液流体在施肥管道中流动损失较小,其中由结构引起的局部水头损失占绝大部分,为94.8%。分配器可将管道出口处能量水头提高43.7%,对于提高沼液在施肥管道的流动性能和防堵能力有很大作用。

另外,在分管的入口处总的能量水头中,压强能转化的水头占据83.6%,也就是说沼液在管道中的流动性能和沼液初始给定的压力有关,因此在实际施肥时,需要罐车提供较高且稳定的施肥压力。施肥参数如表2所示。

表2 沼液沼渣施肥过程中的基本参数

Tab.2 Basic parameters of biogas slurry in process of fertilization

参数	数值
施肥量 $m/(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$	50
垄距 d_0/m	0.7
垄数 n	5
拖拉机速度 $v_0/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	1.2
沼液运动粘度 $\gamma/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	1.46×10^{-3} (TS为10%)
入口压力 p_1/MPa	0.217
总管内径 D/mm	100
总管长度 L/m	2
分管内径 d/mm	36
分管长度 l/m	3

3.2 施肥铲

为了满足沼液沼渣施肥量大以及不同环境下对施肥的要求,设计了深松型、开沟器型、铲尖朝后型、鼠道型4种不同类型的施肥铲。

3.2.1 结构设计

深松型施肥铲如图4a所示。深松型施肥铲是在现有土壤深松铲的后端焊接施肥管而成,铲体结构采用弧形铲柱和菱型铲尖,深松的同时将沼液沼渣灌入土壤中,施肥深度最深可达30 cm,应用于平作或起新垄时施肥^[16]。

开沟器型施肥铲如图4b所示。采用直立式铲柱,前面采用翼型铲头,铲头下端的翼板起稳定沟槽的作用,后面施肥管末端翼板可防止土壤进入施肥管而造成堵塞。两侧翼板入土刃切削土壤,翼板的分土和翻土作用开出沟槽^[16]。这种施肥铲开出的沟槽较大,开沟效果好,适用于整地后土壤状态好、

施肥量大的沼液沼渣施肥,施肥深度可达20 cm。

铲尖朝后型施肥铲如图4c所示。它是在现有固态施肥铲的基础上改造而成,用于残茬较多的地块中进行沼液沼渣施肥。这种施肥铲没有松动土壤的能力,施肥时靠后弧刃剪切土壤后挤压出一条窄的沟槽以便沼液流入。它可将土壤表面的秸秆、残茬顺着后弧刃被压到土壤表层以下,不会形成秸秆缠绕施肥铲柱现象。施肥深度在10~20 cm,适用于整地后达到较好的土壤条件并且对施肥量要求不高的施肥。

鼠道型施肥铲结构图如图4d所示。采用直立式铲柱、圆锥型铲尖,铲尖后部的圆型管起沟槽成型的作用,施肥管焊接在圆型管的后面。这种施肥铲开出的沟槽比较稳定,形似鼠道,入土和开沟效果好,承受的土壤阻力小,对土壤整地质量要求不高,主要适用于浅、中层土壤的施肥^[17-18]。

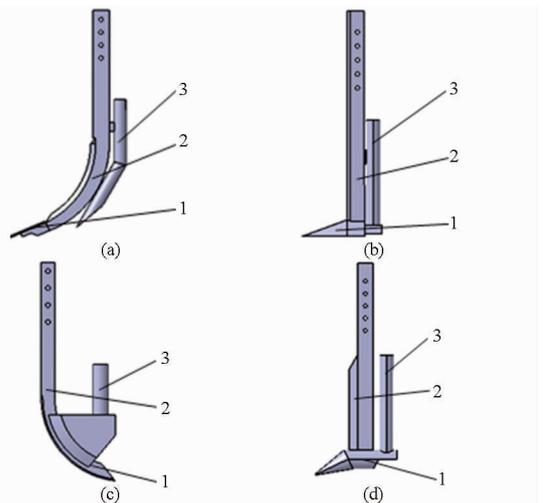


图4 施肥铲的类型

Fig.4 Four fertilization shovels

(a) 深松型 (b) 开沟器型 (c) 铲尖朝后型 (d) 鼠道型
1. 铲尖 2. 铲柱 3. 施肥管

3.2.2 施肥机构的有限元分析

在施肥过程中,施肥机的阻力主要是施肥铲的开沟阻力,为了保证施肥铲的工作可靠性和使用寿命,基于CATIA软件对施肥铲进行有限元分析。铲柄由铁锻造而成,其材料参数为:弹性模量 1.2×10^{11} Pa,泊松比0.291,密度 $7\ 870 \text{ kg/m}^3$,屈服强度 3.1×10^8 Pa。对每个铲受力部位施加相同的载荷:在施肥深度为15 cm时水平方向阻力为2 000 N,垂直方向阻力为500 N左右,有限元分析如图5所示。

由图5分析结果可知,4种施肥铲的最大应力均在铲柄挂接处,铲尖和施肥管处应力最小。Q235的屈服应力为235 MPa,取安全系数为1.5,则最大需用应力 $[\sigma]$ 为156.7 MPa,4种施肥铲的最大应力都小于 $[\sigma]$,满足了强度需要。

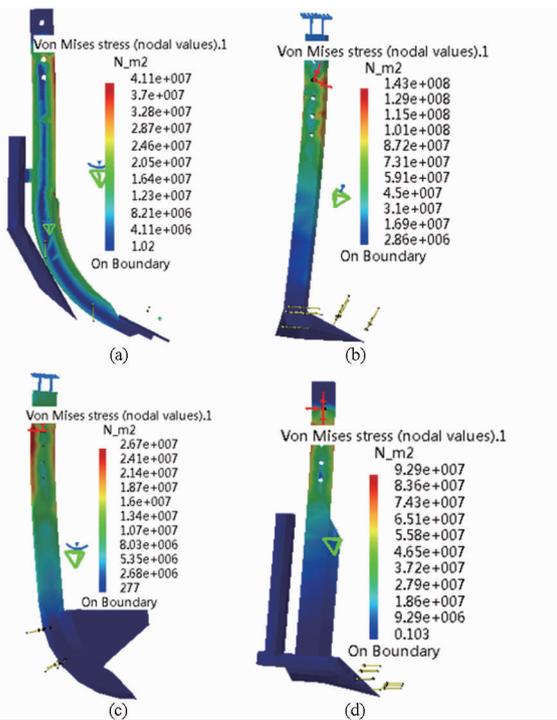


图 5 施肥铲有限元分析结果

Fig. 5 Results of shovel finite element analysis

(a) 深松型 (b) 开沟器型 (c) 铲尖朝后型 (d) 鼠道型

4 施肥机总体结构

施肥机总体结构和实物如图 6 所示。沼液罐车采用被动牵引转向机构,特殊轮胎具有大的压力负荷同时也能满足田间行走作业需要,施肥装置悬挂在沼液罐车后面进行施肥作业。沼肥装罐和施肥都是通过罐车上的空气泵进行,装罐靠抽真空,施肥靠罐体内压缩空气。施肥铲在机架上的安装间距为 60 ~ 70 cm 可调,这也是暗灌施肥条距。

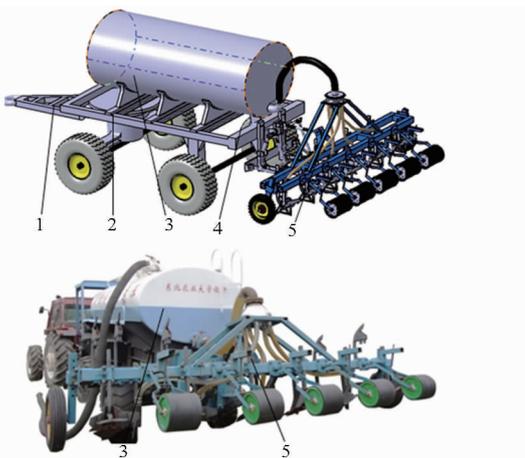


图 6 暗灌施肥机械布局结构图及实物图

Fig. 6 Layout structure and physical diagram of slurry fertilizer applicator for dark irrigation

1. 牵引架 2. 罐车主体 3. 罐体 4. 悬挂装置 5. 施肥装置

施肥量定为 30 ~ 75 t/hm²,样机设计沼肥罐车容量为 5 t,施肥量取 30 t/hm² 时,施肥机单次最远施肥距离为 476 m。

施肥机牵引平衡方程为

$$F_t = F_a + F_f + F_m \quad (7)$$

其中

$$F_f = f(G_u + G_m) \quad (8)$$

$$F_m = KL_t \quad (9)$$

式中 F_t ——牵引力 F_a ——附着力

F_f ——轮胎摩擦力

f ——地对轮胎摩擦因数

F_m ——施肥部件阻力 K ——土壤比阻

L_t ——幅宽 G_u ——罐车重力

G_m ——作业机具重力

在典型路面上轮胎滚动阻力系数 f 最大为 0.2^[16],土壤比阻为 $K = 8 \text{ N/cm}^{[19]}$,则可得到罐车施肥时最小牵引力 $F_{\min} = 28.3 \text{ kN}$,小于东方红 X904 型拖拉机最大牵引力最小值 29.7 kN,因此东方红 X904 型拖拉机能满足罐车施肥动力需求。

5 实验

施肥机的性能实验在哈尔滨双城市杏山镇顺利村进行,实验原料为分布式新农村资源站沼气工程的沼液沼渣,并经过搅拌、加水稀释将 TS 调节到 5% 左右^[14]。牵引动力为东方红 X904 型拖拉机,其最大牵引功率为 49.88 kW,罐车悬挂装置动力来自拖拉机的液压输出,施肥装置分配器动力来源为车载 220 V 蓄电池。实验结果表明,拖拉机能正常牵引罐车行驶运输,行驶速度为 1.5 m/s;罐车悬挂装置可正确完成升降和定位作业,并将沼肥顺利排入到各个施肥铲出口;沼肥最大排出流量时,罐车内沼肥在 2.5 min 内排净,在管道中没有出现堵塞现象,达到了沼肥抽排和运输的预期性能。

6 结论

(1) 施肥装置分配器通过高压脉冲防堵、搅拌防堵、管口边缘清扫防堵等 3 个措施,解决了固液混相流在输送过程中的堵塞问题,并实现沼肥从输送总管到分管的稳定均匀分配。

(2) 施肥机一次进地能完成开沟松土、施肥、起垄及镇压多道工序,减少了拖拉机及罐车进出耕地的次数,4 种不同类型的施肥铲可以适用于不同施肥量和施肥深度以及不同的土壤环境。

(3) 沼液沼渣施肥机械通过拖拉机配套牵引能够进行正常的沼肥运输、抽排工作。

参 考 文 献

- 1 郜玉环,张昌爱,董建军.沼渣沼液的肥用研究进展[J].山东农业科学,2011(6):71-75.
- 2 李文哲,徐名汉,李晶宇.畜禽养殖废弃物资源化利用技术发展分析[J].农业机械学报,2013,44(5):135-142.
Li Wenzhe, Xu Minghan, Li Jingyu. Prospect of resource utilization of animal faeces wastes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5):135-142. (in Chinese)
- 3 陈鹏举,向忠菊.畜禽粪便资源化处理技术在农业污染防治中的应用[J].家畜生态学报,2010,31(2):106-108.
Chen Pengju, Xiang Zhongju. The comprehensive utilization technology of livestock and poultry feces resource in the prevention of the agricultural environment pollution[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2010, 31(2):106-108. (in Chinese)
- 4 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部.第一次全国污染源普查公报[R].中华人民共和国国家统计局,2010.
- 5 Moore J A, Gamroth M J. Calculating the fertilizer value of manure from livestock operations [R]. Oregon State University Administrative Services A442 EC1094, 1993;1-7.
- 6 栾冬梅,李士平,李文哲,等.规模化奶牛场育成牛和泌乳牛产污系数的测算[J].农业工程学报,2012,28(16):185-189.
Luan Dongmei, Li Shiping, Li Wenzhe, et al. Calculation of pollutants producing and discharging coefficients of heifers and lactating dairy cows in large-scale dairy farms[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(16):185-189. (in Chinese)
- 7 张蓓,李汉平,张春光.牛粪 COD 负荷、产污系数及原始产污总量的测算[J].西南农业学报,2011,24(4):1503-1533.
Zhang Bei, Li Hanping, Zhang Chunguang. Determining COD load of cattle dung and calculating COD formation coefficient and total COD amount engendered from cattle dung in China[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(4):1503-1533. (in Chinese)
- 8 汪开英,代小蓉,李震宇,等.不同地面结构的育肥猪舍 NH₃ 排放系数[J].农业机械学报,2010,41(1):163-166.
Wang Kaiying, Dai Xiaorong, Li Zhenyu, et al. NH₃ emission factors of fattening pig buildings with different floor systems [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1):163-166. (in Chinese)
- 9 张田,卜美东,耿维.中国畜禽粪便污染现状及产沼气潜力[J].生态学杂志,2012,31(5):1241-1249.
Zhang Tian, Bu Meidong, Geng Wei. Pollution status and biogas-producing potential of livestock and poultry excrements in China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(5):1241-1249. (in Chinese)
- 10 程文定,郜敏,何毅,等.畜禽粪便饲料资源化开发应用的研究[J].饲料研究,2006(8):62-65.
- 11 闵师界.沼气沼肥综合利用技术[J].农业养殖技术,2011(16):15-16.
- 12 郭胜利,周印东,张文菊,等.长期施用化肥对粮食生产和土壤质量性状的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):16-22.
- 13 Pullen D W M, Godwin R J, Grundon P, et al. Injecting bio solids into grass and arable crops, part I: design and evaluation of a shallow injector [J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(3):285-297.
- 14 Chen Y. A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions [J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(6):1729-1736.
- 15 Chen Y, Zhang Q, Petkau D S. Evaluation of different techniques for liquid manure application on grassland [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2001, 17(4):489-496.
- 16 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册:上册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007:373-384.
- 17 Rodhe L, Rydberg T, Ggbresenbet G. The influence of shallow injector design on ammonia emissions and draught requirement under different soil conditions [J]. Biosystems Engineering, 2004, 89(2):237-251.
- 18 Nyord T, Kristensen E F, Munkholm L J. Design of a slurry injector for use in a growing cereal crop [J]. Soil And Tillage Research, 2010, 10(7):26-35.
- 19 初立东,袁军,袁洪印,等.圆弧形深松铲的阻力测试与仿真分析[J].吉林农业大学学报,2013,35(5):610-614.
Chu Lidong, Yuan Jun, Yuan Hongyin, et al. Resistance measurement and simulation analysis of circular arc subsoiling shovel [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2013, 35(5):610-614. (in Chinese)

Biogas Slurry Fertilizer Applicator for Dark Irrigation

Li Wenzhe Yuan Hu Liu Hongxin Wang Ming Li Wentao Yin Lili
(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Biogas slurry residue has the characteristics of continuity and Large quantity. It has also a great difference with conventional liquid fertilizers. A fertilizer machinery used for biogas slurry dark field irrigation is designed based on the physical parameters of biogas slurry, and it can complete the operations of ditching, fertilizing, ridging, the suppression of process at one time. An distributor adopted by the fertilizer spreader can change continuous flow into intermittent flow and concentrate fluid energy, as a result the anti-blocking capability of the flow are improved to some extent. In addition, the maximum stress of fertilizing shovel applied the job force are in the allowable stress range. According to the calculations of the mechanical traction power for the entire fertilizer, DFH X904 tractor can meet the power demand of the fertilizing machinery when operating.

Key words: Biogas slurry Dark irrigation fertilization Fertilizer applicator Distributor Applicator