

精量播种用种子带覆膜压辊形状和轴向力分布*

王 典¹ 刘晋浩¹ 王建利¹ 吕光辉^{1,2} 魏占国³ 魏 超¹

(1. 北京林业大学工学院, 北京 100083; 2. 国家林业局科技司, 北京 100714;

3. 中南林业科技大学物流学院, 长沙 410004)

【摘要】 为提高窝眼轮式精量播种机压制种子带的质量,对覆膜压辊在负荷作用下其挠度变化对轴向压制力分布和大小的影响进行了研究。采用理论假设求解中高的方法,对覆膜压辊挠度变化进行补偿。通过试验测定,最优覆膜压力 f 为45~160 N。计算出覆膜钢辊两端施加的压制力 F 为3 405 N,通过差分与迭代计算确定采用抛物线补偿的覆膜压辊中高 m 为0.35 mm。采用试验方法测定两辊接触面沿轴线长度方向特征点的压力,结果表明两辊之间压力大小和分布情况与理论计算结果基本相同,种子带压制质量良好。

关键词: 精量播种 种子带 覆膜压辊 挠度补偿

中图分类号: S776.22 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)12-0088-04

Axial Force Distribution and Compression Rollers Shape of Precision Seeding Belt

Wang Dian¹ Liu Jinhao¹ Wang Jianli¹ Lü Guanghui^{1,2} Wei Zhanguo³ Wei Chao¹

(1. School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. Science and Technology Department, National Forestry Bureau, Beijing 100714, China

3. College of Logistics, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract

For improving the pressing quality of seed belt made by the pressing rollers of the precision sowing apparatus, the influences affected by the change of the deflection of rollers on the pressing force were researched. And then, the change of the deflection was compensated with the method of setting crown, while the valve of the crown was solved by the theoretical calculation. After that, the optimum pressing force was measured in the test, and the range of which is from 45 N to 160 N. So, the force inflicted on the two sides of the roller was calculated as 3 405 N. Then, with the difference and iterative calculation, the valve of the crown was set to 0.35 mm. In the final, the force valves of the certain points along the rollers were tested in the experiment. The results showed that the valves and the distribution of the forces between the two rollers were basically same as theoretical analysis, and the effect of seed belt was good enough to pave in the woodland.

Key words Precision seeding, Seed belt, Compression rollers, Deflection compensation

引言

种子带精量播种是一种不采用施胶和干燥制作种子带并进行铺设的精量播种方式^[1]。种子带由

行、列距和播种量按照规格设计的窝眼轮式排种器,将预播的种子投放在营养膜上,与另一幅营养膜经平行安装的钢辊和胶辊组成的覆膜压辊机构挤压、碾磨,并通过钢辊表面的四棱形锥齿刺扎改变营养

收稿日期: 2011-03-31 修回日期: 2011-06-24

* 国家林业局林业公益行业科研专项资助项目(201104007)

作者简介: 王典,博士生,主要从事农业、林业机械机电一体化研究,E-mail: wangdian1982@gmail.com

通讯作者: 刘晋浩,教授,博士生导师,主要从事农业、林业与环境特种装备研究,E-mail: liujinhao@vip.163.com

膜表面纤维的物理形状而制成。

种子带压制质量,与覆膜压辊之间沿轴向的覆膜压力以及分布情况有关。为了保证种子带的压制效果,减少种子被压碎和营养膜压制效果差的概率,本文以覆膜压辊为研究对象,针对压制过程中覆膜压辊轴向压力的大小及分布情况对营养膜压制质量的影响进行研究,并确定最佳覆膜压力、覆膜辊压制力和补偿中高^[2]。

1 种子带压制过程中相关要素分析

1.1 最佳覆膜压力

覆膜压辊最佳覆膜压力 f 采用试验分析确定。试验中,将包有种子的两层营养膜平铺放在材料试验机的模拟压制夹具之间,通过材料试验机的上位机软件读取夹具之间的压力。试验发现,随着压制力 F 的增大,压制效果不断改善。当施加压力大于 45 N 后,种子完全包裹在两层营养膜之间,种子带无开裂现象,达到种子带压制质量要求。当施加的压力增加到 160 N 左右时,种子被压碎,营养膜损坏。因此确定,最佳覆膜压力 f 的取值范围为 45 ~ 160 N。覆膜辊间理想的均布载荷 q 计算式为

$$q = \frac{f}{l_s} \tag{1}$$

式中 l_s ——测量用传感器长度,取 0.01 m

通过计算,均布载荷 q 的取值范围为 4 500 ~ 16 000 N/m。

基于覆膜压力测量结果,对覆膜压辊之间的覆膜分布压力进行测量,若营养膜压制辊间的分布压力处于最佳覆膜压力区间之内,则可保证种子带的压制质量满足要求。

1.2 压辊自重作用下覆膜压力

假设在压制种子带过程中,不施加外部压制力,覆膜压力完全由覆膜钢辊的重力提供,且分布压力均衡,则由重力产生的分布载荷及压力为

$$G = q_c l \tag{2}$$

$$f_c = q_c l_s \tag{3}$$

$$G = \frac{\pi D^2 l \rho g}{4} \tag{4}$$

式中 G ——覆膜压辊重力

q_c ——重力作用产生的沿覆膜压辊均布载荷

f_c ——完全由重力引起的覆膜压力

l ——覆膜压辊有效工作长度, $l = 1.6$ m

D ——覆膜钢辊直径

ρ ——钢辊密度 g ——重力加速度

通过计算,得出 $f_c = 6.43$ N,可见其远小于最佳覆膜压力的最小值。因此,若只依靠压辊重力压制

种子带,则种子带的整体压制效果较差。为了保证种子带的压制质量,需要在覆膜压辊两端施加压力。

1.3 覆膜压辊轴向分布压力测量与分析

为改善种子带的压制质量,在覆膜压辊两端施加压力,以期提高种子带在压辊两端的压制效果。试验中发现,随着压力增大,种子带在压辊两端的压制质量有了一定的提高。但压力增大到一定程度时,压辊中部的种子带出现脱离未复合的现象,种子带的整体压制质量没有得到明显改善。

针对压制过程中出现的情况,为了确定沿覆膜压辊轴向压力的分布情况并分析其对种子带压制质量的影响,采用压力传感器测量沿试验用覆膜压辊的轴向,由左侧端点至两辊中点间,编号分别为 0 ~ 4 共 5 个点的压力。压力传感器选用基于压阻效应的薄膜式压力传感器 FlexiForce^[3]。FlexiForce 压力传感器输出的压力信号,经过放大器放大、单片机采样、A/D 转换,通过串口传送到上位机。上位机软件读取串口通信数据,经过转换读取数据并存取。单片机采样过程是将测量的压力电压信号采样为 0 ~ 1 023 之间的一个数,其中 0 对应压力最小值,1 023 对应压力最大值。在试验开始前需对传感器进行标定校准,标定其最大量程为 444.92 N,分辨率 0.43 N。

测量时将传感器的探头均匀贴于下辊轴向的指定压力测试点处,使各片位于同轴线平行的辊体表面上。试验开始时,通过调整覆膜辊两端旋钮,施加压制力。具体试验步骤如下:①首先将试验用覆膜机调整到水平状态。②将各个标定好的压力传感器安置在覆膜机预先标号的位置上,从左至右,由 0 开始依次编号。③旋转旋钮,施加压力。④在上位机的串口监视软件上,打开串口通讯,查看扫描数据。⑤调整覆膜机压力,观测并记录数据。

1.4 测量结果

采用压力采集传感器系统进行等时间间隔采样 1 145 次。覆膜辊两端施加压力 F 为 0 ~ 3 500 N 时,各轴向测量点压力如图 1 所示。

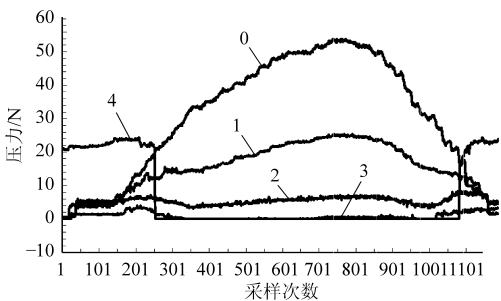


图 1 两端压制力变化时各测量点压力变化曲线
Fig. 1 Pressure variation of measuring points

试验结果表明,随着覆膜压辊两端压力增加,沿覆膜压辊轴向的分布压力随之增加,但增大的幅度不同,0 号测量点压力最大,增大的幅度也最大;3 号测量点压力最小,增大的幅度也最小;而处于中点位置的 4 号测量点的压力是在两端压力达到一定值后突变为零。随着压辊压力的减小,各测量点压力随之减少,但减小的幅度不同,0 号测量点压力减小的幅度最大;3 号测量点压力最小,减小的幅度也最小;处于中点位置的 4 号测量点的压力是在两端压力减小到一定值后突变为原值。

经分析可知,上述问题是由于工作载荷的存在,导致上覆膜钢辊产生挠度变形,从而引起两辊之间压力大小和分布的不均匀。覆膜压辊的挠度变形如图 2 所示。

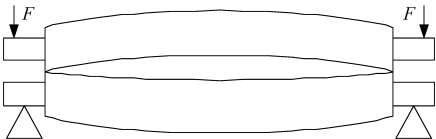


图 2 两端施加压力后覆膜钢辊的挠度变形
Fig. 2 Deflection change after pressuring on compression rollers

因此,为了保证种子带的压制质量,除了在压辊的设计中确定合理的结构尺寸和材料外,还需针对挠度变形采取一定的补偿措施。本文采用设置中高度方法,以期保证沿轴向分布的压制力分布较平均,并在最佳覆膜压力范围之内。

2 覆膜压力与中高确定

通过中高的设定,可在一定程度上保证覆膜压辊轴向分布力处于较平衡状态,但辊间分布力大小难以确定。而压制装置中的下覆膜压辊的外层是橡胶材料,内层是钢材,材料属性不同,使理论计算增加了难度。同时通过试验发现,在覆膜压辊两端受到较大压力时,两辊中间位置处的压力为零。

因此,若要保证种子和营养膜能被很好地压制成为种子带,辊子上的分布压力必须均匀,并达到最佳覆膜压力。为了简化理论分析过程,认定橡胶与钢辊组成的混合体主要是因为接触面上弯曲程度不同导致的压力不均匀,并作如下假设:①橡胶与钢辊组成的构件主要刚度由钢辊提供,即抵抗弯曲变形的主体是钢辊,橡胶部分可忽略不计。②覆膜钢辊设置一个适当的中高,使辊子之间的接触面的弯曲程度接近基本均匀的效果。③除钢辊重力 G 以外,压制营养膜的辊间分布压力完全由覆膜钢辊两端施加的压制力 F 提供。

根据上述假设和材料力学中关于弯曲变形的平

面假设,设定中高后,覆膜压辊在平衡时的受力简图如图 3 所示。

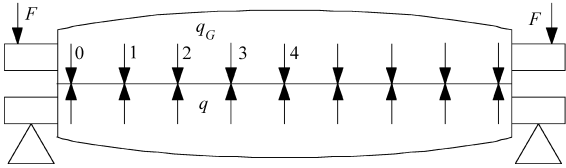


图 3 上覆膜压辊在平衡时的受力简图
Fig. 3 Force condition

2.1 压制力

根据假设条件,由力学的平衡条件有

$$2F + G = ql \tag{5}$$

根据式(5),可以计算出覆膜压辊之间载荷均匀分布、且覆膜压力达到最佳区间时,覆膜压辊两端施加的压制力 F 为 3 405 ~ 12 605 N。

2.2 中高

理想情况下,覆膜压辊的中高曲线是其在实际工作负荷下的实际变形。中高补偿一般采用按圆弧加工补偿,椭圆加工补偿和抛物线加工补偿 3 种方案。但挠度曲线是 4 次曲线,无论采取哪种方案都不能完全地补偿挠度的变化,难以使覆膜压辊的中高与实际变形曲线相同。因此,综合考虑补偿误差、机械加工难度和其他条件的限制,在实际设计制造中,选用抛物线的一部分,如图 4 所示。作为覆膜压辊的中高曲线来近似地补偿。

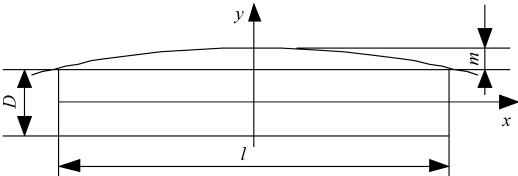


图 4 抛物线补偿曲线
Fig. 4 Compensating curve

抛物线加工的中高曲线方程为

$$y = -\frac{4m}{l^2}x^2 + \frac{D}{2} + m \tag{6}$$

式中 m ——中高

同时,考虑到 2 个辊子接触边缘与两端的施力点不在同一个直线上,两端的集中力会对辊子产生一个弯矩,将支点定为上、下两辊的边缘。设覆膜压辊拱起的弯矩方向为负,反之为正。得出覆膜压辊的弯矩方程为

$$M_x = -F(l+x) + q_c \frac{x^2}{2} - q \frac{x^2}{2} \tag{7}$$

得到挠曲线的近似微分方程为

$$\omega''_x = \frac{M_x}{EI_x} \tag{8}$$

式中 E ——钢的弹性模量

I_x ——钢辊的惯性矩

积分得到覆膜压辊挠度为

$$\omega_x = \iint \frac{M_x}{EI_x} dx + Cx + E \tag{9}$$

式中 $C、E$ ——积分常数

令 $\omega_{x_n} = y_n$ ，其中 $x_n = x_0 + nh, h = \frac{1.6}{N}, x_0 = 0, x_N = 1.6, N = 10\,000$ 。建立差分方程

$$y_{n+1} - 2y_n + y_{n-1} = h^2 y''$$
$$(n = 1, 2, \cdots, N - 1; y_0 = 0; y_N = 0) \tag{10}$$

式中 x_0 ——挠度计算初始位置

x_n ——与挠度计算初始位置 x_0 相距 nh 的计算位置

x_N ——挠度计算终止位置

h ——等分间距 N ——等分数

y_0 ——在挠度计算初始位置 x_0 时的覆膜压辊挠度

y_n ——在挠度计算终止位置 x_n 时的覆膜压辊挠度

y_N ——在挠度计算终止位置 x_N 时的覆膜压辊挠度

通过 Matlab 对差分方程进行求解,并根据计算结果绘制覆膜压辊挠度曲线如图 5 所示。

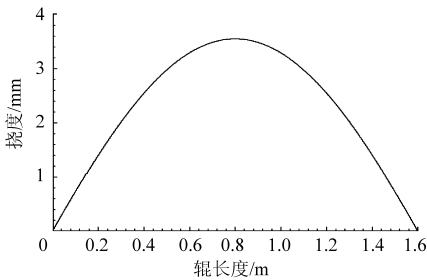


图 5 挠度曲线

Fig.5 Deflection curve

根据覆膜压辊的挠度计算结果,通过迭代计算,不断修正中高,最终使得抛物线补偿曲线的加工中高 m 与覆膜压辊挠度的最大值 $\omega_{\max}$ 相等,此时确定

中高 $m = 0.35\text{ mm}^{[4]}$ 。

3 覆膜压制试验

根据中高计算结果,加工覆膜压辊。在覆膜压辊两端施加压制力,测量覆膜压辊间轴向分布压力。压力传感器的安置在各测量点上(图 3),通过上位机串口检测软件读取数据,待各个测量点的数值进入到最佳覆膜压力区间时,记录覆膜压辊两端施加压制力 F 为 3 500 N 左右,各轴向测量点压力如图 6 所示。

由图 6 表明,未施加压制力时,由于上覆膜钢辊中高的存在,4 号测量点压力较大,其余测量点依次较小。随着压制力的增加,沿着覆膜压辊轴向的分布压力随之增加。3 号测量点增大的幅度最大,0 号测量点分布压力增大的幅度最小,最后各点测量压力数值基本处于最佳覆膜压力区间。

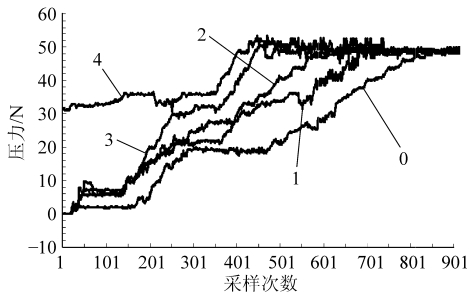


图 6 中高补偿后,复合压力 F 变化时各测量点压力

Fig.6 Pressure variation of measuring points

4 结论

(1)为提高窝眼轮式精量播种机压制种子带的质量,对覆膜压辊间的压制力进行理论分析和试验测定。分析表明,理想覆膜压力 f 为 50 N 左右,覆膜压辊两端施加的压制力 F 为 3 500 N 左右,覆膜压辊采用抛物线补偿的挠度变化中高 m 为 0.35 mm。

(2)试验结果表明,设置中高值,对覆膜压辊进行抛物线补偿可以使轴向力达到均匀分布。

参 考 文 献

1 吴兆迁,刘明刚,孙嘉燕. 林木种子带精量播种技术的研究[J]. 林业机械与木工设备,2005,33(11):23~26.
Wu Zhaoqian, Liu Minggang, Sun Jiayan. A research on the precise drilling technology of forest seed-tapes[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2005,33(11):23~26. (in Chinese)

2 Lü Guanghui, Liu Jinhao, Wang Dian. A research of apparatus and optimal control theory on precision seeding in forestry[C] //International Conference on Mechanical Engineering and Green Manufacturing. Xiangtan: Trans. Tech. Publications, 2010.

3 王永荣,张佩华. 服装压力测试及传感器技术研究[J]. 纺织导报,2008(7):154~155.
Wang Yongrong, Zhang Peihua. Garment pressure measurement and its sensor technology [J]. China Textile Leader, 2008(7): 154~155. (in Chinese)

Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese)

- 14 ASAE S358. 2 DEC—2008 Moisture measurement—forages[S]. 2008.
- 15 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:北京农业大学出版社,1999.
- 16 GB/T 6438—2007 饲料中粗灰分的测定[S]. 2007.
GB/T 6438—2007 Animal feeding stuffs—determination of crude ash [S]. 2007. (in Chinese)
- 17 周祖饬. 农业物科学[M]. 北京:农业出版社,1994.
- 18 郭玉明,袁红梅,阴妍,等. 茎秆作物抗倒伏生物力学评价研究及关联分析[J]. 农业工程学报,2007,23(7):14~18.
Guo Yuming, Yuan Hongmei, Yin Yan, et al. Biomechanical evaluation and grey relational analysis of lodging resistance of stalk crops[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 14~18. (in Chinese)
- 19 郭维俊,王芬娥,黄高宝,等. 小麦茎秆力学性能与化学组分试验[J]. 农业机械学报,2009,40(2):110~114.
Guo Weijun, Wang Fene, Huang Gaobao, et al. Experiment on mechanical properties and chemical compositions of wheat stems [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 110~114. (in Chinese)
- 20 Pegic B M, Kostic M M, Skundric P D. The effects of hemi-celluloses and lignin removal on water uptake behavior of hemp fibers[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(15): 7 152~7 159.
- 21 Kha H, Tuble S C, Kalyanasundaram S, et al. WallGen, software to construct layered cellulose-hemicellulose networks and predict their small deformation mechanics [J]. Plant Physical, 2010, 152(2): 774~786.
- 22 Anja G. Mechanical modeling and structural analysis of the primary plant cell wall[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2010, 13(6): 693~699.
- 23 高洁,汤烈贵. 纤维素科学[M]. 北京:科学出版社,1999.
- 24 Whitney S E C, Gothard M G E, Mitchell J T, et al. Roles of cellulose and xyloglucan in determining the mechanical properties of primary plant cell walls[J]. Plant Physiology, 1999, 121(2): 657~663.

(上接第 91 页)

- 4 赵明杰,王再宙,金淑清. 求解变截面梁挠度的新方法[J]. 内蒙古农牧学院学报,1998, 19(2):127~129.
Zhao Mingjie, Wang Zaizhou, Jin Shuqing. Method for solving the deflection of the varying acrossing-section beam [J]. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry, 1998, 19(2):127~129. (in Chinese)
- 5 廖庆喜,李继波,覃国良. 气力式油菜精量排种器气流场仿真分析[J]. 农业机械学报,2009, 40(7):78~82.
Liao Qingxi, Li Jibo, Qin Guoliang. Simulation analysis on air current field of pneumatic precision metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 78~82. (in Chinese)
- 6 罗锡文,王在满,蒋恩臣,等. 型孔轮式排种器弹性随动护种带装置设计[J]. 农业机械学报,2008, 39(12):60~63.
Luo Xiwen, Wang Zaiman, Jiang Enchen, et al. Design of disassemble rubber guard device for cell wheel feed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12):60~63. (in Chinese)
- 7 陈进,李耀明,王希强,等. 气吸式排种器吸孔气流场的有限元分析[J]. 农业机械学报,2007, 38(9):59~62.
Chen Jin, Li Yaoming, Wang Xiqiang, et al. Finite element analysis for the sucking nozzle air field of air-suction seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9):59~62. (in Chinese)
- 8 左彦军,马旭,玉大略,等. 水稻芽种窝眼窄缝式气吸滚筒排种器流场模拟与试验[J]. 农业机械学报,2011, 42(2): 58~62.
Zuo Yanjun, Ma Xu, Yu Dalue, et al. Flow field numerical simulation of suction cylinder-seeder for rice bud seed with socket-slot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2):58~62. (in Chinese)
- 9 李成华,高玉芝,张本华. 气吹式倾斜圆盘排种器排种性能试验[J]. 农业机械学报,2008, 39(10):90~94.
Li Chenghua, Gao Yuzhi, Zhang Benhua. Experiment on dispensing performance of air-sweeping inclined plate seed metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(10):90~94. (in Chinese)
- 10 刘晋浩,潘海兵,舒庆. 草方格铺设机器人多体动力学仿真与试验[J]. 农业机械学报,2009, 40(6):153~157.
Liu Jinhao, Pan Haibing, Shu Qing. Multi-body dynamic simulation and experiments of the straw-checkerboard barriers paving robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6):153~157. (in Chinese)