

小型轴流滚筒结构及工作参数优化试验

祝永昌 邵维民^V 穆浩民 陈 铮 杨铁牛 陈 虹 薛文通

(西北农业大学农业工程系, 陕西杨陵·712100)

摘 要 解决动力偏低是小动力拖拉机配套联收机的关键问题, 为寻求降低脱粒、分离部件功耗的途径, 本研究设计了专用试验台架, 用正交试验法, 就脱粒滚筒的结构、工作参数优化等问题, 进行了两年的室内试验。结果表明, 当喂入量在 0.75 kg/s 时, 脱粒、清选全部功耗可控制在 4.4 kW 以下。文中对根据试验结果研制的飞龙-0.75 联收机的功耗、性能、田间实测情况也作了简要介绍。

关键词 脱粒装置, 结构设计, 结构参数 联合收获机, 小型拖拉机 / 轴流滚筒, 工作参数

中图分类号 S225.330.2

随着农业生产责任制的推行, 农村目前迫切需要小型联收机。由于自走式联收机结构复杂、作业单一、价格过高, 不适合广大农村使用。采用与拖拉机悬装的组合式联收机是解决这一问题的有效途径。但目前最广泛使用的 11 kW (15 马力) 小四轮拖拉机尚无与之配套的成熟机型, 其技术关键在于配套动力偏低。有关资料^[1,2]报道, 喂入量为 0.75 kg/s 的小联收机所需功率在 11 kW 以上。亦即 15 马力拖拉机配套联收机时功率不足。为此, 必须研制出功耗尽可能小的脱粒、分离部件, 以便有效地降低整机功耗, 满足动力配套要求。小喂入量轴流滚筒的试验研究, 国内外没有先例, 我们在自行设计的试验台上进行的研究^[3], 目的在于优选出满足脱粒、清选性能而功耗最小时滚筒的工作参数、结构形式及参数。

1 试验的因素、水平及方法

影响滚筒工作性能及功耗的因子很多, 选取下列主要因子作为试验因素^[4]。

主要试验因素有: 滚筒的类型、转速和结构长度; 板齿滚筒的板齿数目; 凹板的类型及筛孔的尺寸; 脱粒(凹板)间隙; 顶距(滚筒外缘到滚筒顶盖间的距离)大小; 导草板的高度和角度; 风机的转速、吹风角度和进风口的大小; 喂入量大小和作物品种。

以上每个因素选取 2~3 个水平。其中风机的参数、喂入量的大小和不同品种的作物采用单因子试验, 其余因素则采用正交试验设计安排试验。对于纹杆和板齿两种滚筒分别进行选优试验, 然后再根据各自选优结果, 用试验指标(损失率 $< 1.3\%$, 功耗最小, 含杂率 $< 8\%$)来衡量其优劣。

2 纹杆滚筒结构及工作参数选优试验

首次试验采用 $L_9(3^4)$ 正交表。试验的因素水平及结果如表 1 所示。

表 1 纹杆滚筒脱粒分离性能试验方案及结果

试验号	凹板型式	滚筒转速 (r/min)	凹板间隙 (mm)	导板角度 (度)	试 验 结 果				
					总损失率 (%)	含杂率 (%)	实际喂入量 (kg/s)	实测功耗 (kW)	单位功耗 $\text{kW}/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$
1	1 全栅	1 1146	1 20	1 35	1.06	2.55	0.66	6.57	9.95
2	1 全栅	2 1061	2 30	2 25	0.75	5.17	0.69	6.42	9.32
3	1 全栅	3 976	3 40	3 45	0.85	11.30	0.68	5.18	7.61
4	2 前二栅后二冲	1 1146	2 30	3 45	1.19	8.94	0.68	5.93	8.71
5	2 前二栅后二冲	2 1061	3 40	1 35	0.60	10.00	0.59	6.68	11.33
6	2 前二栅后二冲	3 976	1 20	2 25	2.71	5.05	0.68	6.24	9.18
7	3 前三栅后一冲	1 1146	3 40	2 25	0.82	10.37	0.70	7.33	10.47
8	3 前三栅后一冲	2 1061	1 20	3 45	1.23	7.62	0.72	6.95	9.65
9	3 前三栅后一冲	3 976	2 30	1 35	0.77	7.37	0.65	7.51	11.56

试验条件: 风机转速 700 r/min; 进风口开度 1/2; 顶距 55 mm; 凹板筛筛孔 16 mm × 46 mm; 输送带喂入量 0.75 kg/s; 作物品种 小偃 6 号小麦; 籽粒含水率 19.3%; 茎秆含水率 31.4%; 谷草比 1:1.8 (9 次平均); 凹板筛作成 4 块; “前二栅后二冲”是指前边 (喂入口) 二块为栅格式, 后边两块为冲孔筛。

试验考察的 3 个指标要综合平衡分析。按照总损失率小、功耗小、含杂率低这个次序选优, 根据表 1 的数据用直观分析选优法^[5], 得出优水平试验组合为 $A_1B_2C_3D_1$, 即凹板为全栅格式, 滚筒转速为 1061 r/min, 凹板间隙为 40 mm, 导草板角度为 35°。

对选出的优水平组合进行重复试验, 结果表明总损失率 1.31%, 每秒 1 kg 喂入量功耗 7.1 kW, 含杂率 10.28%, 可见 3 项主要指标均不理想。

3 板齿滚筒结构及工作参数选优试验

根据纹杆滚筒试验情况及板齿滚筒的齿数因素, 各试验因素均取 2 个水平, 采用 $L_8(2^7)$ 正交表, 试验结果如表 2 所示。

表 2 板齿滚筒脱粒分离性能试验方案及结果

试验号	板齿齿数 (个)		凹板型式	滚筒转速 (r/min)	顶 距 (mm)	导板角度 (度)	凹板间隙 (mm)	试 验 结 果		
	A	A × B						总损失率 (%)	含杂率 (%)	单位功耗 $\text{kW}/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$
1	1 48	1	1 全 栅	1 891	1 65	1 45	1 40	4.38	6.89	8.33
2	1 48	1	1 全 栅	2 806	2 60	2 35	2 30	2.99	6.19	7.70
3	1 48	2	2 前二栅后一冲	1 891	1 65	2 35	2 30	5.00	5.09	6.49
4	1 48	2	2 前二栅后一冲	2 806	2 60	1 45	1 40	3.30	6.09	8.14
5	2 72	1	2 前二栅后一冲	1 891	2 60	1 45	2 30	4.11	10.33	5.01
6	2 72	1	2 前二栅后一冲	2 806	1 65	2 35	1 40	3.55	8.60	5.11
7	2 72	2	1 全 栅	1 891	2 60	2 35	1 40	3.15	4.89	4.55
8	2 72	2	1 全 栅	2 806	1 65	1 45	2 30	5.84	6.68	4.18

试验条件: 风机转速 700 r/min; 进风口开度 1/5; 输送带喂入量 0.75 kg/s; 凹板筛筛孔 16 mm × 46 mm; 作物品种: 小偃 6 号小麦; 茎秆含水率 32.41%; 籽粒含水率 17.7%; 谷草比 (8 次平均) 1:1.98

根据表 2 中的数据, 仍用直观分析选优法选出优组合方案为 $A_2B_1C_1D_3E_1F_2$, 即板

齿数为 72 齿, 全栅格凹板, 滚筒转速 891 r/min , 顶距 65 mm , 导草板角度 35° , 凹板间隙 30 mm 。

由试验结果看出, 3 项指标中功耗(7.8 号试验平均)为 4.365 kW , 较纹杆式的 7.1 kW 降低 60% , 但损失率则较纹杆式大得多。又经过多次试验, 通过优化结构参数^[3], 如当板齿数为 96 齿; 凹板间隙 20 mm ; 两块导草板的角、高度分别为 30° 、 40 mm , 27° 、 30 mm ; 风机直径 300 mm , 转速 900 r/min ; 滚筒转速 900 r/min 时, 8 次试验的平均值是: 功耗 4.14 kW , 损失率 0.98% , 含杂率 8.81% 。这样就使损失率降到 1% 以上, 而功耗较纹杆式低的结论仍不变。

传统的概念是轴流滚筒功耗大于切流式(约大一倍左右)^[1], 而杆齿滚筒又大于纹杆式^[2]。但我们发现在试验条件下小型轴流板齿滚筒功耗大大低于纹杆式, 分析其原因有: ①结构及工作参数选择合适, 在设计喂入量(0.75 kg/s)时, 作物在板齿驱动下沿着导板轨道作螺旋运动, 撞击、揉搓力仅使籽粒脱下, 而并不足以粉碎大量茎秆, 茎秆破碎少, 使功耗低; ②板齿近似杆齿, 但因板齿和杆齿结构不同, 使板齿对作物的作用断面小于杆齿, 对作物的茎秆破碎小; ③板齿滚筒脱粒是板齿挂着作物在滚筒中运动, 而纹杆则是将作物压向滚筒外围, 在滚筒的挤压下沿着导板作螺旋运动, 与茎秆的摩擦力较大, 茎秆虽未破碎, 但在压扁过程中消耗了一些功; ④对比的两种滚筒, 纹杆式在结构上比板齿式长 200 mm , 作物在滚筒中停留时间长, 且纹杆造成的空气涡流也大, 消耗了部分功率, 这由两者的空转功耗也可看出: 取试验 3 次平均值, 板齿式为 0.277 kW , 而纹杆式为 0.590 kW 。

对于影响板齿滚筒功耗的滚筒转速和喂入量两个主要因素, 采用二次旋转组合设计进行了试验^[3], 对试验结果进行回归分析得到

$$N(\text{ps}) = 6.749 - 7.633 \times 10^{-3}n - 7.059q + 8.002 \times 10^{-3}ng + 3.063 \times 10^{-6}n^2 + 6.477q^2$$

$$L(\%) = 4.1641 \times 10^{-7}n^{-2.57625}q^{0.46936}$$

$$SI(\%) = 1.6655 \times 10^{-6}n^{2.2301}q^{-0.6857}$$

式中: N ——功耗; L ——脱粒损失率; SI ——含杂率; n ——滚筒转速(r/min); q ——喂入量(kg/s)。

4 谷粒、杂质沿滚筒长度方向的分布规律

轴流滚筒主要靠凹板分离, 为了决定滚筒与凹板的长度, 在每次试验中均用特别的抽屉式接收箱接取落下的谷物。图 1 是根据优化试验方案所测得的平均值按滚筒长度分布绘制而成。由图 1 看出: 两种滚筒的谷粒、杂质分离曲线均呈“驼背”形, 板齿的谷峰较纹杆更为突出, 两峰间谷的位置在距入口 $300 \sim 500 \text{ mm}$ 的范围内。造成这一现象的原因是在输送带输送中谷物与输送槽壁的揉搓、撞击而脱粒和粉碎茎秆, 脱出的谷粒和粉碎的茎秆进入滚筒后很快被分离, 致使喂入口及其稍后的长约 $100 \sim 350 \text{ mm}$ 段籽粒及杂质落下较多。随着谷物进入滚筒沿轴向后移, 滚筒的脱粒作用增强, 故在 $500 \sim 700 \text{ mm}$ 段, 又出现籽粒和杂质分离的高峰。籽粒和杂质的这一分布特征, 易造成喂入口侧粮箱中粮食的溢出及杂质过多。为解决这一问题, 设计飞龙-0.75 联收机时, 在入口侧采用粮袋接粮(换袋方便可不停车), 出口侧采用粮箱接粮。为改善杂质的分布, 将

入口侧的凹板筛孔缩小, 而中部及尾部的凹板筛孔增大。

另外, 测得数据表明, 板齿滚筒在长度 900~1 000 mm 处, 分离的籽粒质量占凹板总分离量的 0.98%, 排出的草中夹带损失仍有 0.29%。为了减少这一损失, 在产品设计中将出草口处的凹板延长至排草轮下部, 以增大分离面积。

5 试验优化后的组合式滚筒主要参数

试验中发现, 在喂入时板齿滚筒较纹杆滚筒抓取能力差, 籽粒沿滚筒长度分布谷峰明显, 针对这一特点, 吸取其功耗低及籽粒分离能力强的优点, 又重新设计了纹杆与板齿的组合式滚筒, 并进行了大量的试验⁽³⁾。结果表明, 这种组合式滚筒能满足损失率、清洁率的要求, 喂入量为 0.75 kg/s 时, 脱粒装置功耗, 可控制在 4.4 kW 以下。

限于篇幅, 仅将飞龙-0.75 联收机脱粒部分的主要部件结构及工作参数介绍如下:

①滚筒: 长度 1 m(其中纹杆长 380 mm); 纹杆及板齿梁各 6 个, 每根板齿梁有 5 组板齿; 滚筒直径 450 mm、转速 976 r/min。②凹板: 栅格式, 分成三段, 入口段可调节凹板间隙(最小 20 mm, 最大 40 mm), 筛孔尺寸 12 mm×42 mm, 中部及出口段凹板, 间隙固定(40 mm)、筛孔尺寸 27 mm×42 mm。③导草板高度及角度: 入口部分 40 mm, 27°, 出口部分 30 mm, 31°。④风机(参看图 2): 4 叶直叶片叶轮, 蜗壳形壳

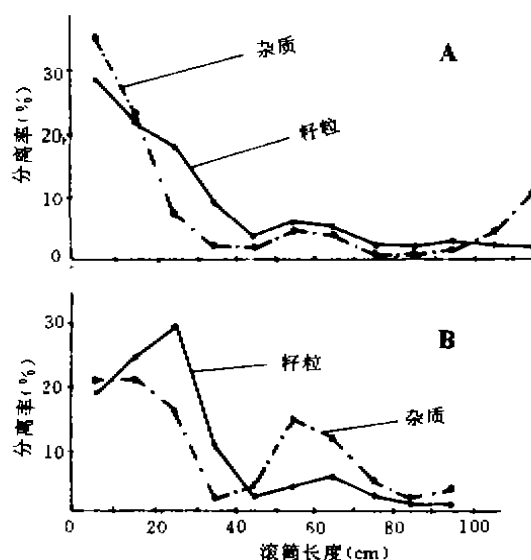


图 1 籽粒、杂质沿滚筒轴向的分布规律曲线
a. 纹杆滚筒; b. 板齿滚筒

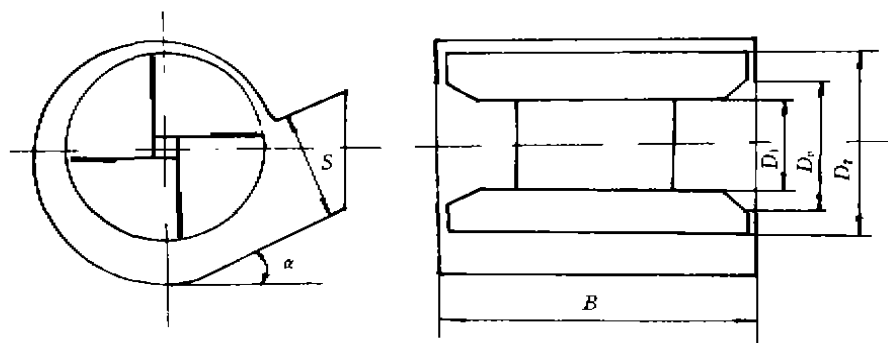


图 2 清粮风机简图

体, 出风口高度 $S=90$ mm, 叶轮内径 $D_1=150$ mm, 叶轮外径 $D_2=300$ mm, 壳体端面进风口直径 $D_0=240$ mm, 风机长度 $B=1\ 000$ mm(为使吹风断面内风速均匀, 分两段制作, 左右各长 465 mm, 中间间隔长 70 mm), 风机转速 900 r/min(加装清粮筛时

为 1100 r/min), 安装角度 $\alpha = 30^\circ$ 。(5) 清粮筛: 单层贝壳筛, 筛面尺寸 900 mm × 900 mm, 筛子与水平面夹角 5° 。(6) 排草轮: 杆齿式, 直径 300 mm, 转速 1500 r/min。

用上述结构的脱粒装置配置在小四轮拖拉机上的飞龙-0.75 联收机, 1988 年的样机经陕西省农机质检总站检测: 喂入量 0.73 kg/s, 总功耗 5.63 kW, 总损失率 1.90%、清洁率 91.90%(未加清粮筛), 破碎率 0.3%。河南省安阳市水泵厂引进图纸制造的飞龙 4L-0.75 联收机(配套动力为东方红-150 拖拉机), 1991 年 6 月由河南省农机鉴定站检测: 喂入量 0.81 kg/s 时, 总功耗 5.82 kW; 喂入量 1.12 kg/s 时, 总功耗 8.35 kW, 总损失率 1.73%、清洁率 98%(加装清粮筛), 破碎率 0.3%, 使用可靠性 97%。

上述有关功耗全部采用电测法测试。

6 结 论

1) 试验表明, 小型板齿式轴流滚筒在适当的参数配合下, 可获得良好的工作性能, 功耗较纹杆式轴流滚筒和切流式滚筒的低。

2) 在本试验基础上设计的小型组合式轴流滚筒, 能将脱粒、分离、清粮部分的功耗控制在 4.4 kW 以下, 不仅可在 11 kW 的拖拉机上配置联收机, 而且有足够的功率贮备。

3) 试验表明, 在小型轴流筒上配置一个清粮风扇和单层筛子, 可使清洁率 > 95%, 损失率 < 1.5%。

参 考 文 献

- 1) 北京农业机械化学院主编 农业机械学(下册) 北京: 农业出版社, 1981: 323~477
- 2) 机械工程手册, 电机工程手册编辑委员会. 机械工程手册(65篇: 农业机械). 北京: 机械工业出版社, 1980: 65-101~65-148
- 3) 祝永昌, 邵维民, 穆浩民等. 飞龙-0.75 小型谷物联收机及其部件的研制简报. 西北农业大学学报, 1989; 17(1): 106~109
- 4) 许大兴, 杨健民. 卧式轴流脱粒分离装置研究. 农业机械学报, 1984(3): 57~66
- 5) 屠秉恒编著. 农业机械试验设计及其直观优选法 北京: 农业出版社, 1982: 161~210

Testing on Structure and Working Parameters of the Small-sized Axial-Flow Drum

Zhu Yongchang Shao Weiming Mu Haomin Chen Zheng
Yang Tieniu Chen Hong Xue Wentong

(Department of Agricultural Engineering, Northwest Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract Solving the problem of lower power is the key to the perfection of a complete set of combine with small power tractor. In order to find a way to lower power consumption of threshing and separating parts, a special testing table was designed for the experiment. A two-year in-lab test was conducted on the optimum working parameters and structure of threshing drum using orthogonal test design. The results showed that when the feeding capacity was 0.75 kg/s, total power consumption of threshing and cleaning could be controlled below 4.4 kw. Also, this paper briefs on the field testing conditions of power consumption and performances of Feilong-0.75 grain combine developed in accordance with the testing results.

Key words threshing mechanisms, structural design, structure parameters, combine harvesters, small tractors / axial-flow drum, working parameters