

# 全喂入稻麦联合收获机复脱系统设计\*

傅美贞<sup>1</sup> 龚永坚<sup>2</sup> 陈德俊<sup>1</sup> 徐锦大<sup>3</sup> 张建荣<sup>1</sup>

(1. 金华职业技术学院机电工程学院, 金华 321007; 2. 金华职业技术学院信息工程学院, 金华 321007;  
3. 金华市农业机械研究所, 金华 321017)

**【摘要】** 横置轴流脱粒的履带式全喂入稻麦联合收获机籽粒含杂率高,从尾筛落下的杂余随籽粒进入粮箱是主要原因。通过测定单位时间所产生的杂余量及其构成,设计了以螺旋板齿式复脱器为核心的复脱系统,计算了整个系统的物料轴向速度和输送量,并对应用此复脱器的联合收获机进行了田间试验测定。结果表明:螺旋板齿式复脱系统能使占喂入量9%~10%的杂余顺畅地收集、输送、再脱粒、经二次清选后进入粮箱,使含杂率从7%下降到行业标准要求的2%以下。

**关键词:** 联合收获机 复脱系统 设计

**中图分类号:** S223 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0057-05

## Design of Re-threshing System of Whole-feed Rice-wheat Combine Harvester

Fu Meizhen<sup>1</sup> Gong Yongjian<sup>2</sup> Chen Dejun<sup>1</sup> Xu Jinda<sup>3</sup> Zhang Jianrong<sup>1</sup>

(1. Mechanical and Electrical Engineering College, Jinhua Polytechnic, Jinhua 321007, China

2. College of Information and Engineering, Jinhua Polytechnic, Jinhua 321007, China

3. Jinhua Research Institute of Agricultural Machinery, Jinhua 321017, China)

### Abstract

The grain impurity rate of the combine harvester with across axial flow roller was high for the grain surplus could enter into the bin. By measuring the quantity and composition of grain surplus in unit time, the developed re-threshing system could calculate the speed and total amount of the material, and be tested in field. The statistics showed that this system could make the grain surplus amounting to 9%~10% smoothly be collected, transmitted, threshed, then sent into the bin again, which reduce the trash content from 7% to below 2%.

**Key words** Combine harvester, Re-threshing system, Design

### 引言

轴流式脱分装置脱出物中碎茎秆多,杂余(包括未脱净的小穗)含量高<sup>[1-2]</sup>,在清选过程中从尾筛落下的杂余随籽粒进入粮箱,使籽粒含杂率高达5%~7%,达不到 $\leq 2\%$ 的行标要求。研究表明,解决含杂率高的最有效办法是将杂余进行复脱后再清选回收籽粒<sup>[3]</sup>,其核心部件是复脱器。复脱部件在联合收获机中的作用十分重要,因为脱粒后必然产生包括带籽粒的小穗在内的杂余,若为保证清洁度指标将其排出机外则增加损失,否则含杂率将超标。

传统的小麦联合收获机在收集杂余的水平螺旋输送机末端设置复脱器,主要有两种形式:一种是锥形滚筒,靠滚筒上的纹杆与机壳上的搓板搓擦使杂余复脱后落入清选筛;另一种是扬谷器,在其外壳上安装若干组可拆卸的“U”形板或阶梯搓板,杂余经高速回轮的扬谷轮时,在其叶片的离心力作用下,将杂余甩在搓板上受强烈冲击而复脱,然后由扬谷轮抛至清选室再清选<sup>[4]</sup>。全喂入稻麦联合收获机若应用以上方法复脱水稻,碎叶多且作物潮湿时易引起堵塞。国内近年来对复脱研究较多的梳脱式联合收获机,其复脱装置是横置轴流滚筒<sup>[5]</sup>,对全喂入稻麦

收稿日期: 2011-07-15 修回日期: 2011-08-28

\* 浙江省科技厅科技计划重点资助项目(2004C21012)

作者简介: 傅美贞,副教授,主要从事农业机械设计研究, E-mail: fumz@163.com

联合收获机也不适用。本文根据水稻复脱物料的单位时间产出量和构成,研究设计从杂余收集、输送到复脱分离并进行二次清选回收的复脱系统,建立有关设计计算方法。

## 1 复脱物料分析及复脱系统设计

### 1.1 复脱物料所占比例及构成

为了解回收杂余的成分进行了取样分析。取样水稻品种为协优 9308 超级稻(晚稻),植株伸直高度 1.31 m,自然高度 1.13 m,籽粒含水率 26.4%,茎秆含水率 64.7%。喂入长度约 0.80 m,经轴流滚筒脱粒分离,脱出混合物占喂入量的 50%~55%。在脱出混合物中,纯籽粒占 90.8%,其余 9.2% 为含有小穗头、短茎秆、碎茎叶、颖壳和粉状物的杂余。经测定,杂余的容积密度  $\gamma = 193.0 \text{ kg/m}^3$ 。复脱物料构成见表 1。

表 1 复脱物料取样及成分

Tab.1 Sampling and composition of re-threshing materials

样品 序号	体积 /m <sup>3</sup>	质量 /kg	杂余物料质量分数/%		
			短茎秆	小穗及 籽粒	碎茎叶、 颖壳、 粉状物
1	0.015 2	2.24	48.3	30.2	21.5
2	0.012 1	2.78	20.7	70.5	8.8
3	0.014 2	2.36	40.7	45.5	13.8
4	0.013 5	2.91	22.5	66.4	10.9
5	0.013 8	2.96	12.3	76.1	11.6
平均值	0.013 8	2.65	28.9	57.7	13.3

### 1.2 复脱系统设计

在联合收获机脱粒清选室的籽粒水平螺旋输送机后面,设置杂余水平和垂直螺旋输送机,如图 1 所示。在脱粒滚筒后部设置复脱装置并与杂余垂直螺旋输送器的出口相接。从尾筛下落的复脱物料(杂余)由杂余水平螺旋输送机收集后,经杂余垂直螺旋输送机送进复脱装置进行复脱。复脱后杂余中的籽粒和碎叶等在离心力作用下通过复脱器凹板筛重回振动筛,而较大的茎叶等从排茎口排入振动筛<sup>[6]</sup>,经二次清选后,籽粒收入粮箱,碎茎叶排出机外。

当收割作物产量高、喂入量大时,因带有成熟籽粒的小穗头、短茎秆和草叶等杂余的回收量增大易引起堵塞,所以必须进行调整。调整时,将滑板固定螺栓 2 拧松,将滑板升高减少回收量;反之,则作反向调节,以保持籽粒较高的清洁度。

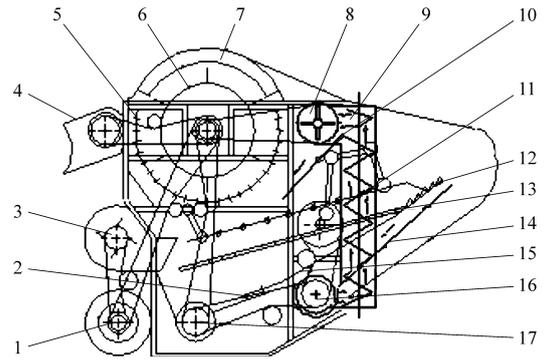


图 1 复脱系统结构

Fig.1 Structure of re-threshing system

1. 传动轴 2. 调节螺栓 3. 清选风扇 4. 输送槽 5. 栅格凹板
6. 脱粒滚筒 7. 导向板 8. 复脱器 9. 杂余垂直螺旋输送机
10. 滑板 11. 上筛 12. 尾筛 13. 下筛 14. 杂余回收滑板
15. 籽粒收集滑板 16. 杂余水平螺旋输送机 17. 籽粒水平螺旋输送机

## 2 复脱系统结构设计

### 2.1 复脱器

#### 2.1.1 复脱器结构设计

由于待复脱物料主要是长度 10 cm 左右的短茎秆和小穗头,因此需重新将短茎秆粉碎、将小穗头脱粒并使其在清选筛整个幅宽内被分离,故其工作机构为由复脱滚筒和凹板筛组成的小型轴流式脱粒分离装置。为防止短茎秆经复脱后堵塞分离筛,在凹板筛的末端开设排茎口。由于小穗上籽粒和粒柄联结力大,需采用接触面宽、打击强度大的板齿作复脱元件<sup>[7]</sup>,且板齿在滚筒体上应呈螺旋线排列,以促进物料轴向移动。凹板筛应采用栅格式,使物料能在凹板筛的横向隔板作用下得以翻转、揉搓获得充分脱粒并快速分离,以减少籽粒破碎。因此,复脱器为一封闭式结构,由复脱滚筒、凹板筛和上罩壳组成,也可视为叶片式螺旋输送机。由于复脱物料在复脱滚筒一端径向喂入,为避免喂入处堵塞,需设计螺旋叶片以促进物料轴向移动。因此,复脱滚筒由螺旋叶片、脱粒板齿和排草板 3 段构成。栅格式凹板筛由纵、横向隔板和钢丝构成。如图 2 所示。

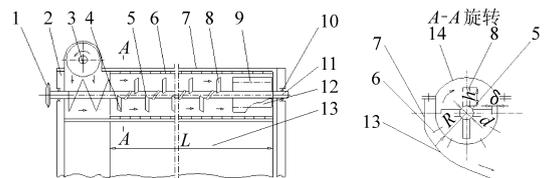


图 2 复脱装置俯视图

Fig.2 Draft of re-threshing unit

1. 驱动链轮 2. 机架 3. 杂余垂直螺旋输送机 4. 螺旋叶片
5. 滚筒体 6. 栅格式凹板 7. 下机壳 8. 板齿 9. 排草板
10. 滚动轴承 11. 轴 12. 排茎口 13. 滑板 14. 上罩壳

### 2.1.2 复脱器参数计算

根据复脱系统方案,取复脱滚筒与脱粒室等宽,复脱滚筒长度为1200 mm,其中喂入段240 mm,复脱段760 mm,排茎段200 mm。复脱凹板筛位于复脱段与排茎段下方,筛长 $L = 760 + 200 = 960$  mm。取凹板包角 $\beta = 240^\circ$ ,以提高复脱滚筒周向分布效果及均匀性<sup>[8]</sup>。

#### (1) 复脱器有效容积 $V$

复脱器封闭结构的容积应满足杂余复脱的要求,由于工作时边复脱边分离,故不再考虑物料的充满系数而取杂余的平均体积为设计依据。由表1可知杂余的平均体积 $\bar{V} = 0.0138$  m<sup>3</sup>,假设全部被输送至复脱器内,取 $V = \bar{V} = 0.014$  m<sup>3</sup>。

#### (2) 复脱有效截面面积 $S$

要求经复脱杂余中的籽粒和碎茎叶在离心力作用下均匀撒布于振动筛面上,因此复脱器长度为筛面和排草口宽度之和,其值 $L = 960$  mm。复脱有效截面面积计算公式为

$$S = \frac{V}{L} \quad (1)$$

则 $S = \frac{0.014}{0.96} = 0.01458$  m<sup>2</sup> = 14580 mm<sup>2</sup>。

#### (3) 复脱滚筒筒体直径 $d$

根据经验公式<sup>[9]</sup>

$$d = (0.02 \sim 0.03)L \quad (2)$$

$d = 0.025L = 0.025 \times 960 = 24$  mm,取 $d = 25$  mm,半径 $r = 12.5$  mm。

#### (4) 复脱装置凹板圆弧半径 $R_a$

根据

$$S = \pi(R_a^2 - r^2) \quad (3)$$

则 $R_a = \sqrt{\frac{S}{\pi} + r^2} = \sqrt{\frac{14580}{3.14} + 12.5^2} = 69.28$  mm

取 $R_a = 75$  mm。

#### (5) 复脱滚筒半径 $R$

复脱滚筒板齿与凹板筛之间应保证10~20 mm的间隙 $\delta$ <sup>[10]</sup>,取 $\delta = 12.5$  mm。

根据

$$R = R_a - \delta \quad (4)$$

则 $R = 75 - 12.5 = 62.5$  mm,直径 $D = 125$  mm。

#### (6) 复脱滚筒平均半径 $\bar{R}$

计算公式为

$$\bar{R} = \frac{R+r}{2} = \frac{62.5+12.5}{2} = 37.5$$
 mm

#### (7) 复脱滚筒板齿高度 $h$

根据

$$h = R - r \quad (5)$$

则 $h = 62.5 - 12.5 = 50$  mm。

#### (8) 板齿螺旋线螺距 $t$

根据

$$t = (0.7 \sim 1.0)D \quad (6)$$

则 $t = 87.5 \sim 125$  mm,取 $t = 100$  mm。

#### (9) 复脱滚筒转速 $n_3$

计算公式为

$$n_3 = \frac{60v}{2\pi R} \quad (7)$$

参考脱粒所需线速度<sup>[11]</sup>,要求复脱板齿齿顶线速度 $v = 10 \sim 15$  m/s,取 $v = 10$  m/s,即

$$n_3 = \frac{60v}{2\pi R} = \frac{600}{2 \times 3.14 \times 0.0625} = 1538$$
 r/min

## 2.2 水平螺旋输送器和垂直螺旋输送机

### (1) 结构参数确定

杂余水平螺旋输送器的功能是收集、输送待复脱物料(杂余),其长度与复脱器长度 $L$ 相等,不同的是螺旋线上是连续的螺旋叶片而非不连续的板齿。杂余垂直螺旋输送机用于将杂余水平螺旋输送机收集的物料送到复脱器。表1中取样物料均来自杂余水平螺旋输送机,故杂余水平和垂直螺旋输送器的结构参数可与复脱器一致,即螺旋外径 $D = 125$  mm,内径 $d = 25$  mm,平均半径 $\bar{R} = 37.5$  mm,螺距 $t = 100$  mm,螺旋叶片高度50 mm。

### (2) 工作参数确定

参考籽粒水平螺旋输送机,取杂余水平螺旋输送机转速 $n_1 = 500$  r/min,由于同结构垂直螺旋输送机输送量仅为水平螺旋输送器的0.46倍<sup>[3]</sup>,故杂余垂直螺旋输送机转速 $n_2 = n_1/0.46 = 1087$  r/min。

## 3 复脱系统分析计算

### 3.1 物料轴向移动速度

物料轴向移动速度的计算参照文献[9,12]。

(1) 物料在水平螺旋输送器的轴向速度  $v_1$

计算公式为

$$v_1 = \frac{tn_1}{60} \cos^2 \alpha (1 - f \tan \alpha) \quad (8)$$

其中

$$\alpha = \arctan \frac{t}{2\pi R} = 23^\circ$$

式中  $\alpha$ ——螺旋角,即螺旋面法线与转轴的夹角,取螺旋面平均半径 $\bar{R}$ 处法线与轴线夹角,( $^\circ$ )

$\varphi$ ——物料与螺旋面的摩擦角,水稻 $\varphi = 17^\circ 41'$ ,小麦 $\varphi = 16^\circ 35'$ ,取 $\varphi = 17^\circ$

$f$ ——物料与螺旋面摩擦因数,取 $f = \tan \varphi = \tan 17^\circ = 0.31$

将各数据代入式(8)得  $v_1 = 0.61 \text{ m/s}$ 。

(2)物料在垂直螺旋输送器的轴向速度  $v_2$  计算公式为

$$v_2 = \frac{2R\pi}{60}(n_2 - n_k) \frac{\sin 2\alpha}{2} \quad (9)$$

其中  $n_k = 30 \sqrt{\frac{\tan(\alpha + \varphi)}{R\mu}} = 255 \text{ r/min}$

式中  $n_k$ ——垂直螺旋输送机临界转速,即物料无轴向移动时转速, r/min

$\mu$ ——物料与螺旋输送机筒体摩擦因数,  $\mu = f = 0.31$

将数据代入式(9),则  $v_2 = 1.17 \text{ m/s}$ 。

(3)物料在复脱器的轴向速度  $v_3$

由于复脱器为水平配置,物料入口处螺旋叶片的结构参数与杂余水平螺旋输送机相同,板齿与螺旋叶片等高、螺距  $t$  相同,依据式(8)求  $v_3$  时仅转速不同,故有  $v_1/v_3 = n_1/n_3$ ,则  $v_3 = \frac{n_3}{n_1}v_1 = 1.88 \text{ m/s}$ 。

$v_3 > v_2 > v_1$ ,物料可顺利从水平螺旋输送机经垂直螺旋输送机送入复脱装置进行复脱。碎茎叶可顺利送往排茎口被排出,籽粒可沿复脱器整个长度分布并在离心力作用下从凹板筛分离到清选筛上进行二次清选。

### 3.2 复脱系统输送量计算

复脱系统输送量计算参照文献[4]。

(1)水平螺旋输送机输送量  $Q_1$

计算公式为

$$Q_1 = \frac{\pi}{24} [(D - 2\delta)^2 - d^2] \psi t n_1 \gamma C_1 \times 10^{-10} \quad (10)$$

式中  $\psi$ ——输送杂余的充满系数,取  $\psi = 0.3$

$C_1$ ——倾斜输送系数,水平螺旋输送机  $C_1 = 1.0$

将各数据代入式(10),得  $Q_1 = 0.35 \text{ kg/s}$ 。

(2)垂直螺旋输送机输送量  $Q_2$

由  $n_2 C_2 / (n_1 C_1) = 1.01$ ,故有  $Q_2 = 1.01 Q_1 = 0.36 \text{ kg/s}$ 。

(3)复脱器输送量  $Q_3$

因复脱器入口处为螺旋叶片,其后为呈螺旋线排列的板齿式浆叶,按水平螺旋输送机进行计算,即  $C_3 = C_1 = 1$ 。用  $n_3$  代替  $n_1$  可求得  $Q_3$ 。因  $n_3/n_1 = 1538/500 = 3.07$ ,故有  $Q_3 = 3.07 Q_1 = 1.07 \text{ kg/s}$ 。

根据输送量计算可看出,  $Q_3 > Q_2 > Q_1 > Q$ 。  $Q$  为单位时间杂余量,如前所述为喂入量  $1.8 \sim 2.0 \text{ kg/s}$  的  $9.2\%$ ,即  $Q = 0.17 \sim 0.18 \text{ kg/s}$ ,故复脱系统几个部件均可满足杂余回收、输送和复脱的要求。同时,复脱器在工作过程中边复脱边分离,因此不会产生堵塞。

## 4 试验研究和性能测定

### 4.1 复脱前、后物料性状变化及复脱效果

经取样测定,杂余经复脱后性状变化如表2所示,其表征效果如图3所示。

表2 复脱前、后物料质量分数变化

Tab.2 Nature change before and after re-threshing

	%			
物料	短茎秆	籽粒	碎叶	粉状物
复脱前	48.3	30.2	18.7	2.8
复脱后	1.1	28.9	9.5	60.5

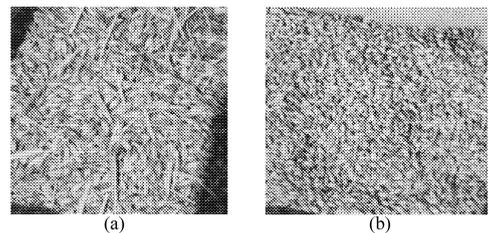


图3 复脱前、后籽粒对比

Fig.3 Grain contrast before and after re-threshing

(a) 未经复脱籽粒 (b) 经复脱籽粒

### 4.2 田间性能测定

法定计量部门对带有本复脱系统的4LZS-1.8型履带式全喂入稻麦联合收获机进行了田间性能检测,检测结果见表3。

表3 水稻、小麦收割性能检测

Tab.3 Harvesting performance of rice-wheat

检测项目	总损失率/%	含杂率/%	破碎率/%	试验条件	
杂交水稻	标准要求	$\leq 2.5$	$\leq 2.0$	$\leq 1.0$	黄熟,单产 $5420 \text{ kg/hm}^2$ ,自然高度 $718 \text{ mm}$ ,
	检测结果	1.48	0.64	0.45	实测喂入量 $1.82 \text{ kg/s}$ ,籽粒含水率 $23.0\%$
小麦	标准要求	$\leq 1.5$	$\leq 2.0$	$\leq 1.0$	黄熟,单产 $5333 \text{ kg/hm}^2$ ,自然高度 $855 \text{ mm}$ ,
	检测结果	0.81	0.52	0.21	实测喂入量 $1.84 \text{ kg/s}$ ,籽粒含水率 $26.0\%$

## 5 结论

(1)以标准喂入量下杂余单位时间的产生量和杂余成分构成为依据,设计计算了复脱器及复脱系统的结构参数和工作参数。轴向移动速度  $v_3 > v_2 > v_1$ ,说明整个复脱系统工作顺畅,  $Q_3 > Q_2 > Q_1 > Q$ ,说明复脱系统的处理量,可满足标准工况下所产生

的杂余量  $Q$  的处理要求,为稻麦收获杂余复脱系统的设计提供一种计算方法。

(2)经试验与检测表明,杂余在复脱前、后性状变化较明显,复脱效果显著,螺旋板齿式复脱系统的应用使籽粒含杂率从无复脱系统的7%下降到2%以下,复脱系统完善了该类稻麦联合收获机的设计。

## 参 考 文 献

- 1 吴守一. 农业机械学:下册[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,1992:107~108.
- 2 李耀明,李洪昌,徐立章. 短纹杆-板齿与钉齿脱粒滚筒的脱粒对比试验研究[J]. 农业工程学报,2008,24(3):139~142.  
Li Yaoming, Li Hongchang, Xu Lizhang. Comparative experiments on threshing performance between short-rasp-bar tooth cylinder and spike tooth cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering, 2008,24(3):139~142. (in Chinese)
- 3 江崎奇雄. 割捆机和联合收割机[M]. 北京:机械工业出版社,1980:198~200.
- 4 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007:980~981.
- 5 李耀明,徐立章,邓玲黎,等. 复脱分离装置的理论分析及试验[J]. 农业机械学报,2005,36(11):56~58.  
Li Yaoming, Xu Lizhang, Deng Lingli, et al. Theoretical analysis and experimental study on rethreshing separation unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(11):56~58. (in Chinese)
- 6 陈德俊,龚永坚,黄东明,等. 履带式全喂入稻麦联合收获机工作装置设计[J]. 农业机械学报,2007,38(8):82~85.  
Chen Dejun, Gong Yongjian, Huang Dongming, et al. Development on some apparatus of Chinese model caterpillar rice-wheat combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(8):82~85. (in Chinese)
- 7 尹文庆,何杨清. 脱粒装置的结构技术剖析[J]. 农机化研究,1999(4):42~44.  
Yin Wenqing, He Yangqing. Explain on technology of threshing unit structure[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 1999(4):42~44. (in Chinese)
- 8 衣淑娟,陶桂香,毛欣. 两种轴流脱粒分离装置脱出物分布规律对比试验研究[J]. 农业工程学报,2008,24(6):154~156.  
Yi Shujuan, Tao Guixiang, Mao Xin. Comparative experiment on the distribution regularities of threshed mixtures for two types of axial flow threshing and separating installation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008,24(6):154~156. (in Chinese)
- 9 张兰星,何月娥. 谷物收割机械理论与计算[M]. 长春:吉林人民出版社,1980:158~159.
- 10 李渤海. 螺旋叶片式轴流脱粒与分离装置的试验研究[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2005.  
Li Bohai. Experimental research on axial flow threshing and separation unit[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 11 赵华海,周学成,陈德义,等. 摘脱收获复脱分离装置的试验研究[J]. 农业工程学报,1995,11(4):73~78.  
Zhao Huahai, Zhou Xuecheng, Chen Deyi, et al. Experimental research on rethreshing-separating mechanism for stripper harvesting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1995,11(4):73~78. (in Chinese)
- 12 洪政育,林良明. 连续运输机[M]. 北京:机械工业出版社,1982:231~234.