

# 割前摘脱稻麦联合收获机分离清选装置物料运动模拟\*

王立军

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

**【摘要】** 利用 Fluent 软件中修正的  $k-\varepsilon$  湍流方程及拉格朗日法的离散相模型对 4ZTL-1800 型割前摘脱稻麦联合收获机分离清选装置内物料运动进行了数值计算, 得到了物料在分离清选装置内的运动轨迹, 沉降、分离、清选等运动规律, 并通过数值计算得到物料质量流量、分离装置入口气流速度和分离清选装置收集物料的清洁率的关系。

**关键词:** 联合收获机 割前摘脱 分离装置 清选装置 气流场

**中图分类号:** S225.39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0062-03

## Separation and Initial Cleaning Chamber in Grain - Wheat Combine Harvester

Wang Lijun

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

### Abstract

Modified  $k-\varepsilon$  turbulent differential equations and discrete phase model of Lagrange in Fluent software were used to simulate grain moving in the separation and cleaning chamber in 4ZTL-1800 grain-wheat combine harvester threshing prior to cutting. The grain trajectories, the laws of grain particles separating and depositing, debris including chaff and short straw being cleaned in the chamber were obtained. Furthermore, the relationships between inlet airflow velocity and grain mass flow respectively and grain cleaning rate were also simulated and analyzed, which are beneficial to increase cleaning rate of grain and to decrease the power consume of the machine.

**Key words** Combine harvester, Threshing prior to cutting, Separation equipment, Cleaning equipment, Flow field

### 引言

4ZTL-1800 型割前摘脱稻麦联合收获机采用气流吸运系统输送由摘脱装置摘脱下的谷物<sup>[1-2]</sup>。在该气流吸运系统的分离清选装置内, 谷粒、断穗依靠自身的惯性与气流实现了分离沉降, 杂余被离心风机产生的气流吸出机外。该装置既有分离又有部分清选作用, 但在缩小其体积和降低压力损失方面尚有余地<sup>[3]</sup>。

谷物分离清选装置内物料的运动属于气固两相流范畴, 流动比较复杂, 并且很难通过现有的测试手

段实现对两相流动特征的精确测量, 国内对该类装置进行了大量研究<sup>[4-7]</sup>。本文利用 Fluent 软件中修正的  $k-\varepsilon$  湍流方程及拉格朗日法的离散相模型, 通过数值计算获得分离清选装置内物料的运动轨迹, 揭示分离清选装置的工作原理。

### 1 数学模型建立与网格划分

#### 1.1 分离清选装置结构和网格划分

谷物分离清选装置如图 1 所示, 由入口、分离室、导流板和出口等部分组成。分离清选装置的主要结构参数为长 2 100 mm、宽 700 mm、高 1 060 mm。

收稿日期: 2011-08-15 修回日期: 2011-09-10

\* 国家自然科学基金资助项目(51005045)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20092325120003)、黑龙江省自然科学基金资助项目(E201153)和哈尔滨市青年科技创新人才基金资助项目(2008RFQXN014)

作者简介: 王立军, 副教授, 主要从事农业机械研究, E-mail: wljszf@163.com

考虑到分离清选装置内气体流场在宽度方向上分布的对称性,为减少计算量,计算区域选取整个流场宽度的1/2进行。采用非结构化四面体网格对计算域进行空间离散,网格示意图如图2所示。

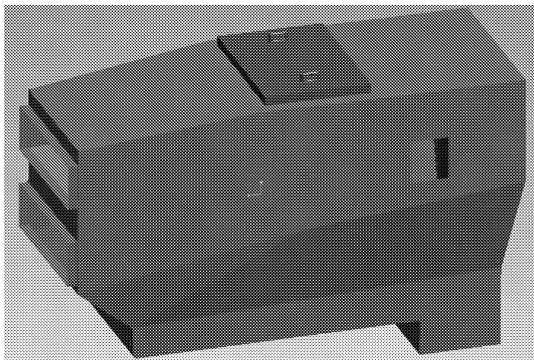


图1 分离清选装置外观图

Fig.1 Separation and cleaning chamber

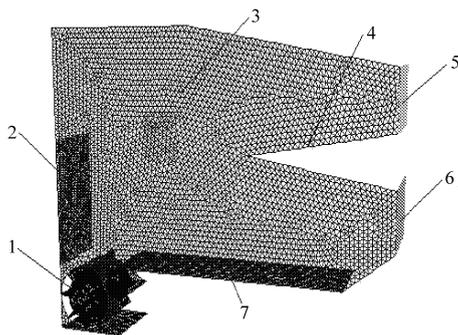


图2 分离清选装置网格示意图

Fig.2 Grid of separation and cleaning chamber

1. 排料叶轮 2. 后壁传送带 3. 分离室 4. 隔板 5. 出口  
6. 入口 7. 底传送带

## 1.2 流场边界条件

(1)模型入口气流速度、出口气体压力分布

分离清选装置入口气流场的速度分布规律是进行分离清选装置内气体流动模拟计算的边界条件,本研究采用五孔探针对分离清选装置入口气流速度进行测量。测点分布采用等面积法,入口气体的平均速度是24.9 m/s。

(2)叶轮区采用MRF参考坐标系

根据联合收获机田间作业情况,实际工作转速设定为150 r/min。动静交界面设置为interface,激活Coupled。

(3)计算模型的壁面条件

水平、垂直传送带设定为滑移网格,运动速度为106.3 m/s。其他壁面附近的流动区域应用标准的壁面函数来计算流体流动的特性。

## 2 计算结果及分析

### 2.1 物料运动轨迹及速度分布

由试验测得试验用水稻的密度为1200 kg/m<sup>3</sup>,

算术平均直径为3.282 mm。数值计算中设定物料的质量流量为0.01 kg/s,以0 m/s初速度进入分离清选装置。在分离室入口中心随机选取5个飘浮系数不同的籽粒进行数值跟踪,5个籽粒的运动轨迹及轨迹上不同点籽粒的运动速度分布如图3所示。

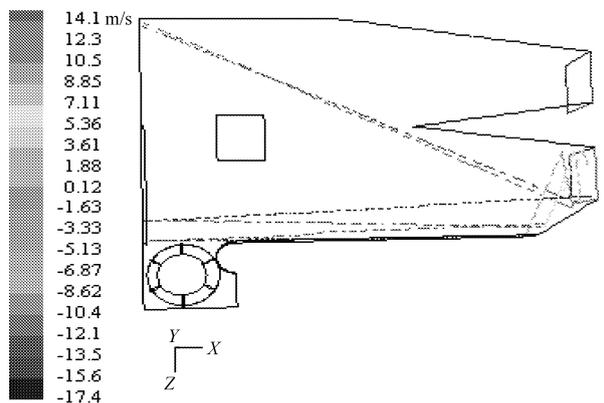


图3 物料在XY平面内运动轨迹及X方向的速度

Fig.3 Grain trajectories in XY plane and their velocities in X direction

从图3籽粒的运动轨迹可以看出,初速度较低的籽粒由分离室入口进入分离室后,大部分籽粒落到分离室底部的输送带上,被输送带水平输送,籽粒运动速度逐渐趋于平缓,到达排料叶轮后,在叶轮旋转带动下进入分离室底部被收集。少数籽粒与分离室后部垂直输送带碰撞后,在输送带向下输送作用下,被降至排料叶轮,进而被收集;极少数籽粒碰撞分离室后壁后直接沿壁沉降下来。漂浮系数较大的干瘪籽粒、颖壳和短茎秆,极少数与分离室后壁或输送带发生碰撞,大多数在隔板前端,受到向上运动气流的作用力,在Z方向(铅垂方向)发生波动,最终在气体的携带下,在隔板的上方由后向前运动,最后由出口排出。与田间试验观察现象相吻合。

### 2.2 分离清选装置入口气流速度对其收集物料清洁率的影响规律

图4为物料以初速度为零,质量流量为1.5 kg/s条件下进入分离清选装置时,分离清选装置入口气流速度对其分离效率的影响规律。由图可见,当入口气流速度在16~22 m/s时,分离清选装置的分离效率为100%。当入口气流初速度为24 m/s时,虽然入口气流速度增加,但分离清选装置的分离效率下降为99.8%。这是因为,随着进口气流速度的增加,靠近后壁处向上流动的气流速度会相应增加,气流湍流度也得到增强。那些漂浮能力较强的籽粒就有可能被紊乱的气流带动而作不规则运动,并增加了与分离室各个壁面碰撞的机率。当这部分籽粒偶尔运动到上分离室空间内时,就会被气流携带越过中间隔板,由分离室出口排除,产生气流夹带损失,

使分离清选装置的分离效率降低。入口气流速度对分离清选装置的分离效率有较大影响。而收集物料的清选率随着入口气流速度的增加而提高。

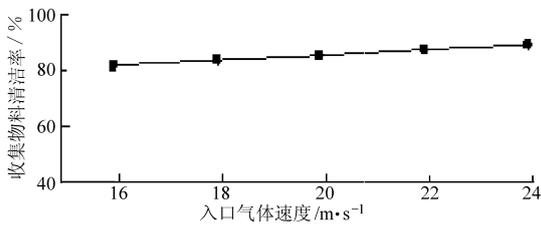


图4 分离清选装置入口气流速度对收集物料清洁率的影响

Fig.4 Effect of inlet velocities on cleanliness rate of grain

### 2.3 分离清选装置入口物料的质量流量对其收集物料清洁率的影响

图5为分离室入口气流速度为20 m/s时,物料质量流量对分离清选装置分离效率及收集物料清洁率的影响。当入口物料质量流量在1.5~3.5 kg/s变化时,分离清选装置的分离效率保持在100%。且收集物料的清选率随着入口物料质量流量的增加

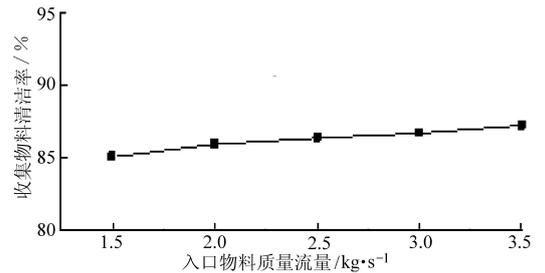


图5 分离清选装置入口质量流量对收集物料清洁率的影响

Fig.5 Effect of inlet grain mass on cleanliness rate of grain and improve.

### 3 结论

(1) 利用拉格朗日法的离散相模型对分离清选装置内籽粒运动进行了数值模拟,得到了籽粒、颖壳、短茎秆等物料在分离清选装置内的运动轨迹。

(2) 通过数值计算得到物料质量流量、分离清选装置入口气流速度和分离清选装置收集物料清洁率的关系。

### 参 考 文 献

- 蒋亦元,涂澄海,许家美,等. 水稻割前脱粒收获机器系统[J]. 农业机械学报,1993,24(1):55~59.  
Jiang Yiyuan, Tu Chenghai, Xu Jiamei, et al. A rice harvesting machine system for threshing prior to cutting[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1993, 24(1): 55~59. (in Chinese)
- 蒋恩臣. 割前摘脱装置及其吸运系统[M]. 北京:高等教育出版社,2002:70~75.
- 王立军. 气吸式割前脱联收机惯性沉降分离室的机理研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2006.  
Wang Lijun. Study on inertia separation chamber of combine harvester threshing prior to cutting with air suction[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 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):55~58.  
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): 55~58. (in Chinese)
- 吴文科,谢方平,王志高,等. 联合收获机气流输送式清选机构[J]. 农业机械学报,2006,37(7):199~201.
- 刘师多,张利娟,师清翔,等. 微型小麦联合收获机旋风分离清选系统研究[J]. 农业机械学报,2006,37(6):45~48.  
Liu Shiduo, Zhang Lijuan, Shi Qingxiang, et al. Experimental research on cyclone separating cleaning system used on micro-combine harvester of wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 45~48. (in Chinese)
- 李永军,何芳,李志合,等. 气流对割前摘脱的影响[J]. 农业机械学报,2003,34(2):152~153.