





脱粒机械



揚州大學

-  第一节 脱粒机的种类和构造
-  第二节 脱粒装置
-  第三节 分离装置
-  第四节 清粮装置及理论分析



第一节 脱粒机的种类和构造

一、按脱粒程度分类：

简易式脱粒机

半复式脱粒机

复式脱粒机

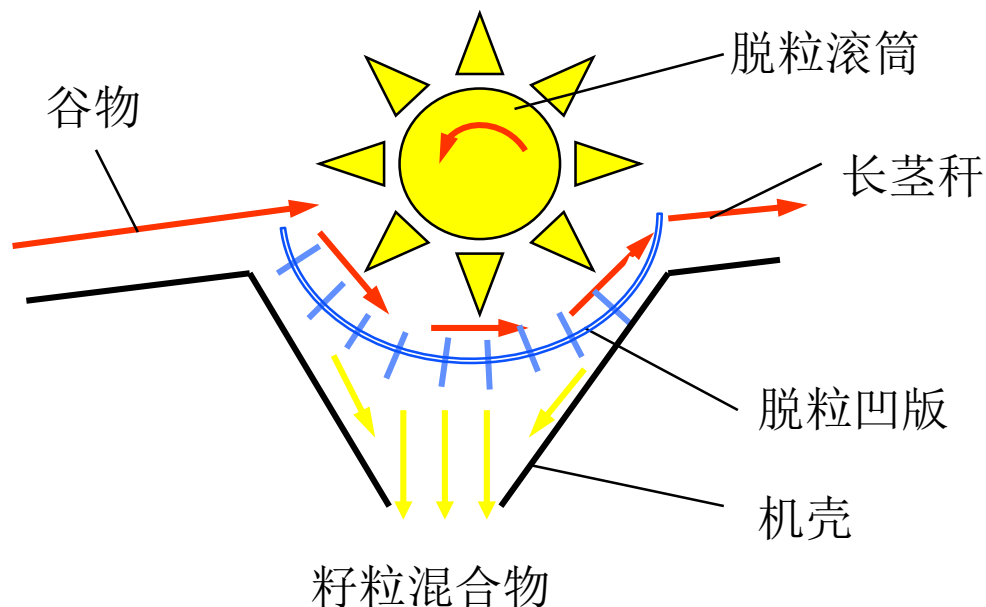
● 二、按谷物喂入的方式分类：

全喂入脱粒机

半喂入脱粒机

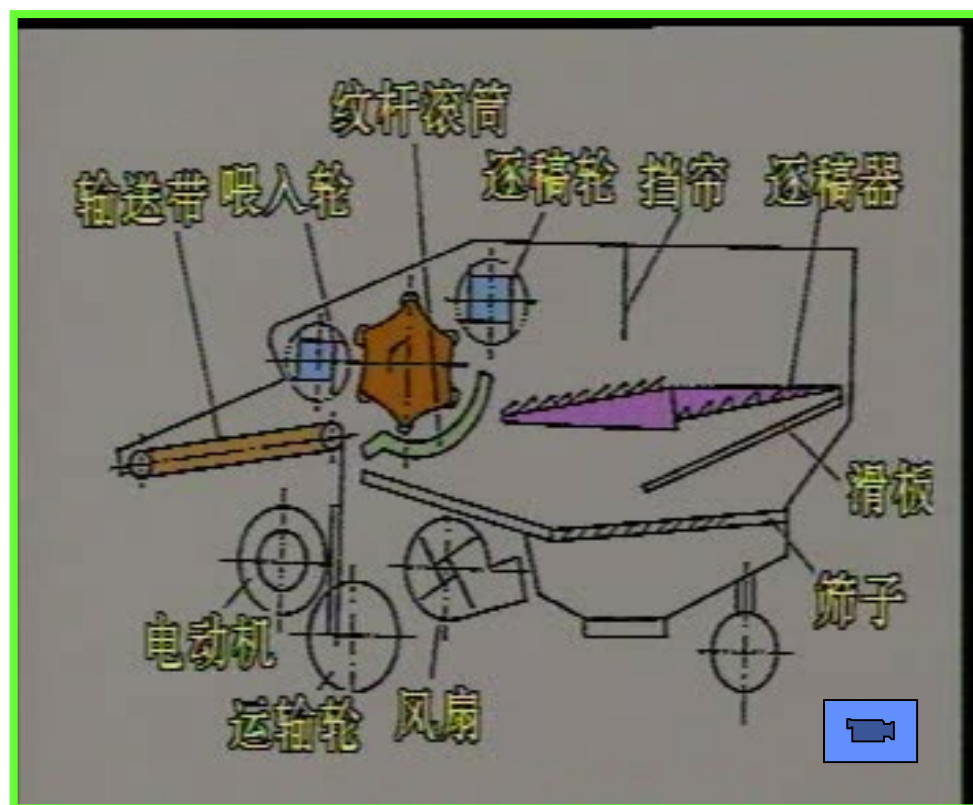
➤ 简易式脱粒机

- 一只有脱粒装置，不能分离和清粮，处理结果为混合物，尚需后续加工处理。



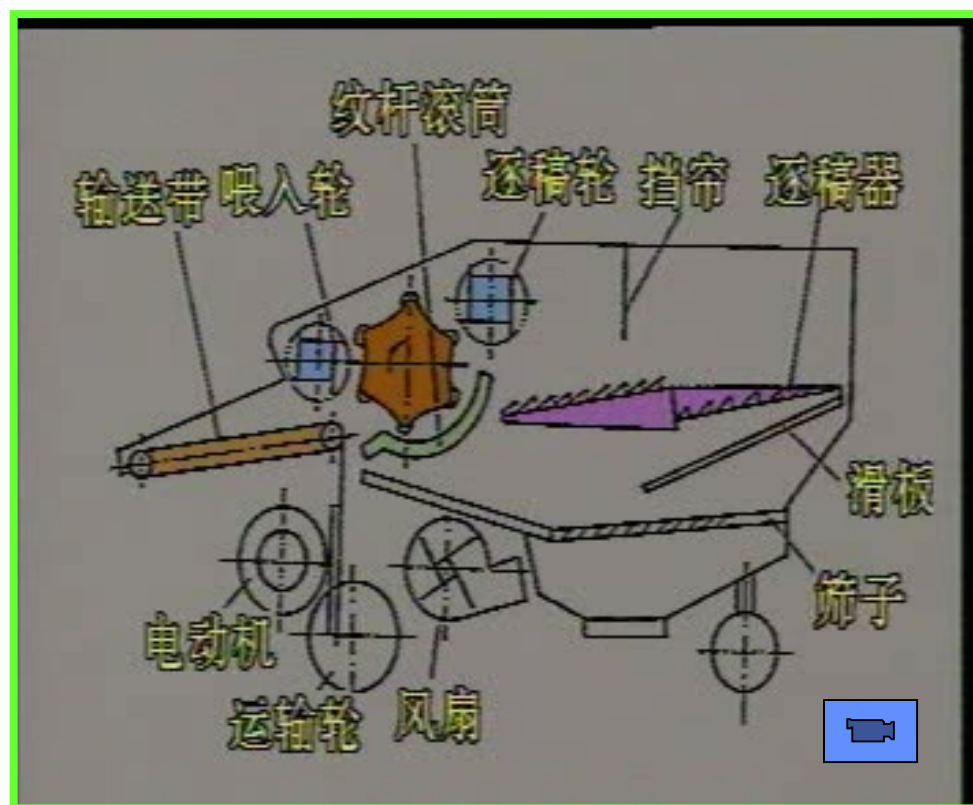
➤ 半复式脱粒机

- 一有脱粒、分离和清粮功能，能获得比较干净的籽粒，但脱粒不太彻底，仍有少量的混合物。



➤ 复式脱粒机

- 一除了有脱粒、分离、清粮功能外，还设有复脱、复清和分级装置，能获得不同级别的干净籽粒。





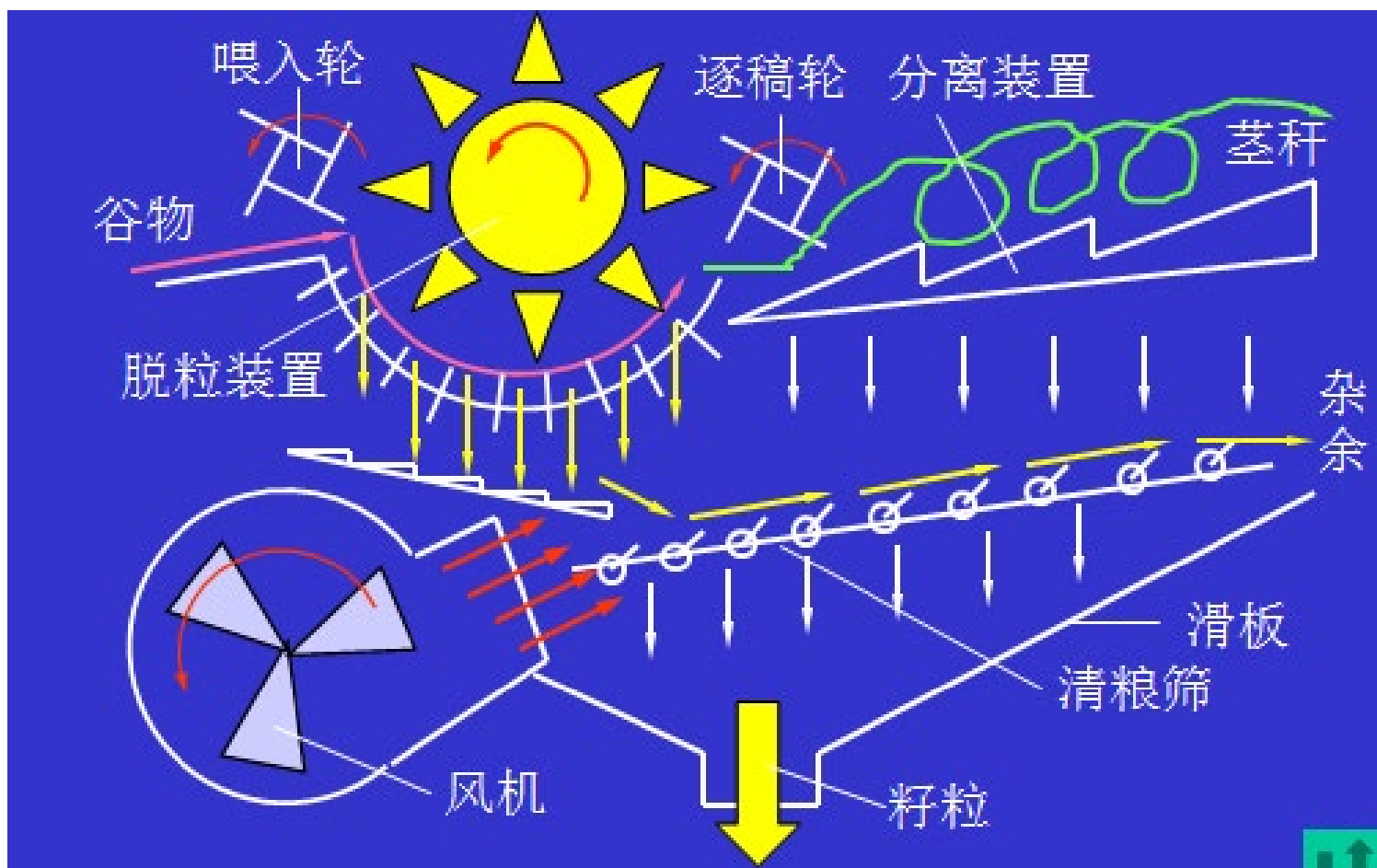
-
- 全喂入式脱粒机
 - （一）普通滚筒式脱粒机
 - （二）轴流滚筒式脱粒机
 - 半喂入式脱粒机
 - 玉米脱粒机



➤ 脱粒机的一般组成

- 脱粒机一般包括以下主要部分：脱粒装置、分离装置、清粮装置、传动装置和机架等。其中，脱粒装置、分离装置、清粮装置是脱粒机械的三大组成部分。

● 脱粒机械的一般结构组成及工作原理





第二节 脱粒装置

- 一、脱粒装置的技术要求和工作原理
- 二、纹杆滚筒式脱粒装置
- 三、钉齿滚筒式脱粒装置
- 四、双滚筒脱粒装置
- 五、轴流滚筒脱粒装置
- 六、半喂入式脱粒装置
- 七、脱粒滚筒功率耗用和运转稳定性
- 八、滚筒的平衡



一、脱粒装置的技术要求和工作原理

□对脱粒装置的技术要求

- ① 脱得干净，脱净率 $>99\%$;
- ② 谷粒破碎、暗伤尽可能少，破碎率 $<0.5\%$ ；
- ③ 分离性能好；
- ④ 通用性好，能适应多种作物；
- ⑤ 功率耗用低；
- ⑥ 在某些情况下要求保持茎秆完整或尽可能减少破碎。



- 脱粒装置是脱粒机械和联合收获机上的核心工作部件，尤其是对于简易式脱粒机而言更是核心的核心。脱粒装置工作性能的优劣对其他辅助工作部件的影响是很敏感的，在很大程度上决定了整个系统的工作质量和生产率，脱粒机械和联合收获机的设计与选型均是依据脱粒装置的参数来确定的。

1. 脱粒装置的功用

将谷粒从穗轴上脱离下来，并有一定的分离能力。



□ 脱粒机械的工作原理

- 被割谷物经脱粒机械的喂入口进入由脱粒滚筒和凹版组成的脱粒间隙进行打击和搓擦后，短脱出物通过栅格状凹版进入由清选筛和风机组成的清粮装置进行清选。



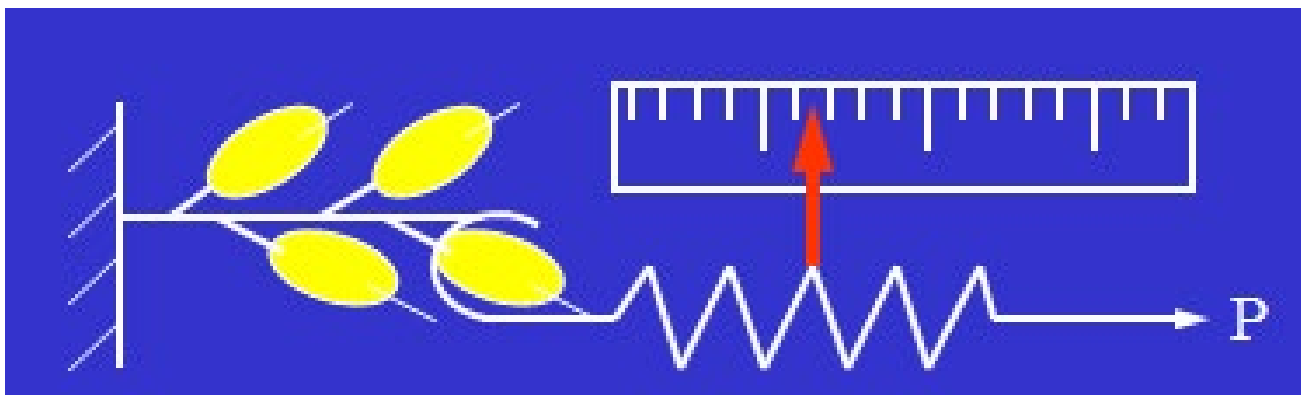
-
- 长脱出物则进入分离装置进行茎秆与籽粒的分离，长茎秆被排出机外，而籽粒等短脱出物则通过分离装置上的筛孔进入下方的清粮装置进行清选；在风机和清选筛的联合作用下，颖壳等细小轻杂物被吹出机外，干净的籽粒经由籽粒收集装置进入集粮装置。



谷物的脱粒特性与脱粒原理

- 1、谷物的脱粒特性
- 谷物的脱粒特性——主要是指谷物的脱粒难易程度，这种难易程度主要取决于谷粒与谷穗之间的连接强度，而他们之间的连接强度与作物的品种、成熟度和湿度有直接的关系，随着这些因素的改变，破坏谷粒与谷穗之间的连接所需要的能量也是不相同的。

- 脱粒的难易程度通常用脱下一颗籽粒所需要的功来表示。常用的方法有：牵拉法、冲击法等。试验结果表明，小麦的脱粒功 $A=30\text{g}\cdot\text{cm}$ ，小麦的脱粒功小于水稻的脱粒功。





2、谷物的脱粒原理

(1)冲击脱粒：靠脱粒元件与谷物穗头的相互冲击作用而进行脱粒。冲击速度越高，脱粒能力越强，但破碎率也越大。

(2)搓擦脱粒：靠脱粒元件与谷物之间，以及谷物与谷物之间的相互摩擦而使谷物脱粒。脱粒装置的脱粒间隙的大小至关重要。



(3)梳刷脱粒：靠脱粒元件对谷物施加拉力而进行的脱粒。

(4)碾压脱粒：靠脱粒元件对谷物施加挤压力而进行的脱粒。此时作用在谷物上的力主要是沿谷粒表面的法向力。

(5)振动脱粒：靠脱粒元件对谷物施加高频振动而进行的脱粒。

- 上述几种脱粒方式是在长期的生产实践过程中总结而来的，不同的作物种类和作物品种、不同的贮存方式和后加工方式，其脱粒方法也不同，也就是说，选择何种脱粒方法完全取决于作物的特性。
- 例如：小麦与水稻的脱粒特性就有较大的差异。

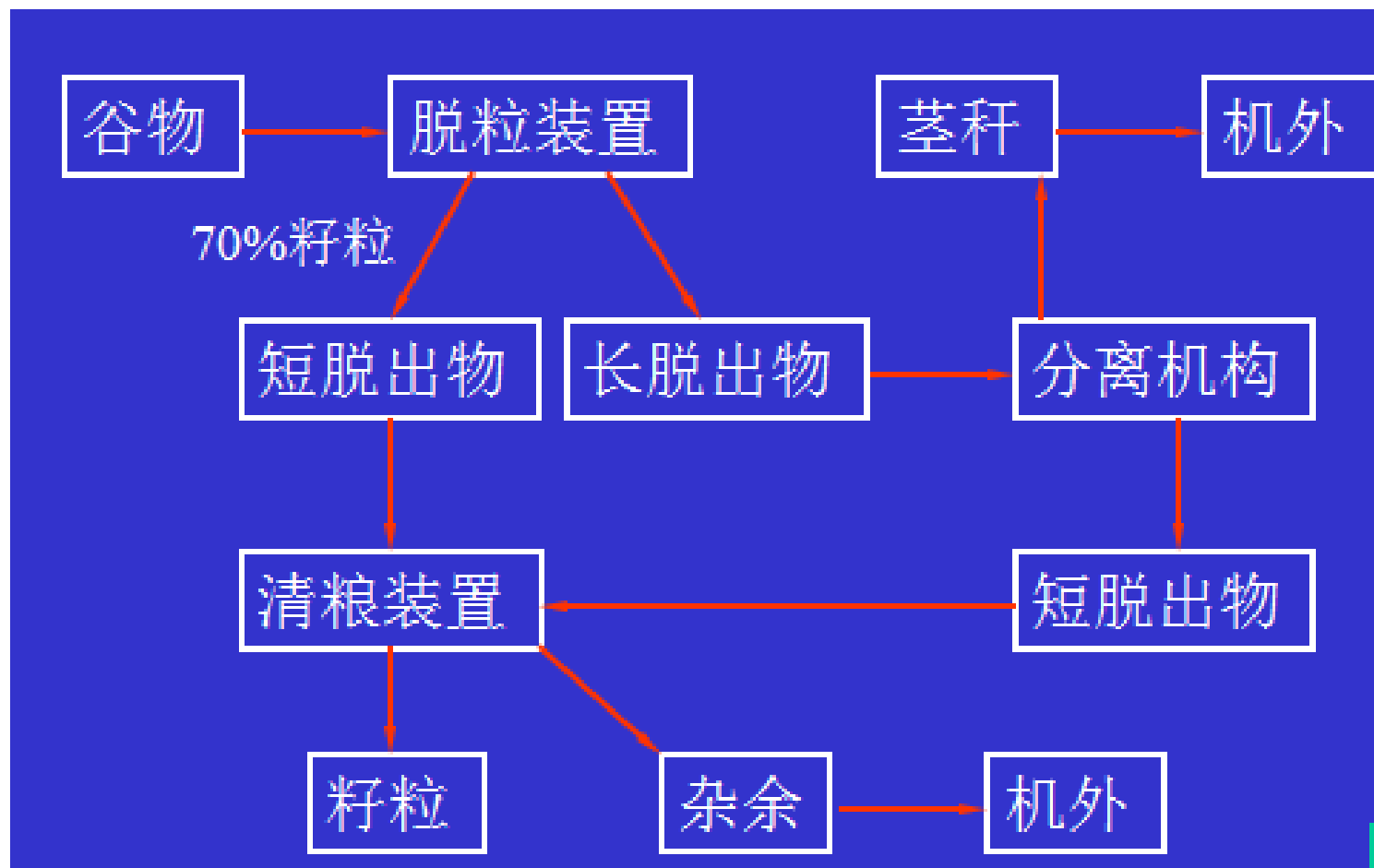




- **小麦**的籽粒在未成熟时被紧紧的包裹在颖壳里，而一旦成熟，颖壳就被张开，籽粒与颖壳之间的连接强度大大削弱，而且小麦的脱粒要求是获得干净的籽粒。收获时，小麦的籽粒与颖壳之间的连接强度较弱，籽粒的外壳相对坚硬，不易破碎，因此，小麦的脱粒一般采用搓擦脱粒和冲击脱粒为主。
- **水稻**的脱粒特性与小麦不同，即便是在成熟度较高的时候，籽粒与颖壳之间的连接强度仍然很大，但谷粒与穗轴之间的连接比较脆弱。水稻的贮存方式也与小麦不同，水稻为带壳贮存。如果裸存的话，存放时间很短。水稻的籽粒脆硬，容易破碎。因此，水稻收获多采用梳刷脱粒。



脱粒机的工艺流程



二、切流纹杆滚筒式脱粒装置

- 1、组成：纹杆滚筒、栅格状凹版、间隙调节装置等

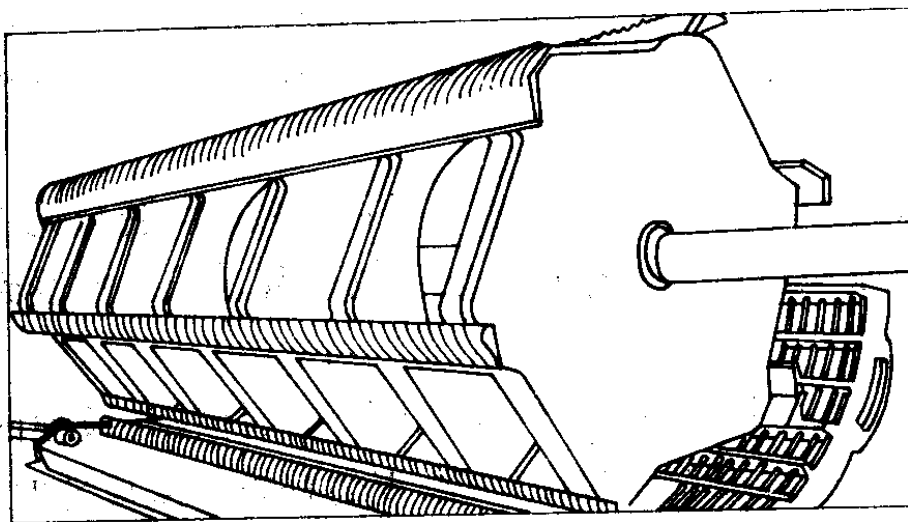
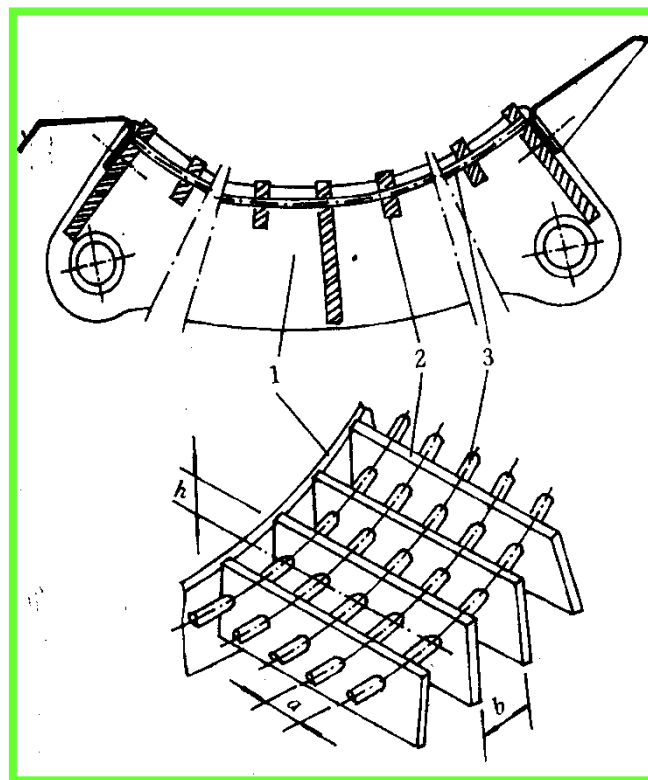
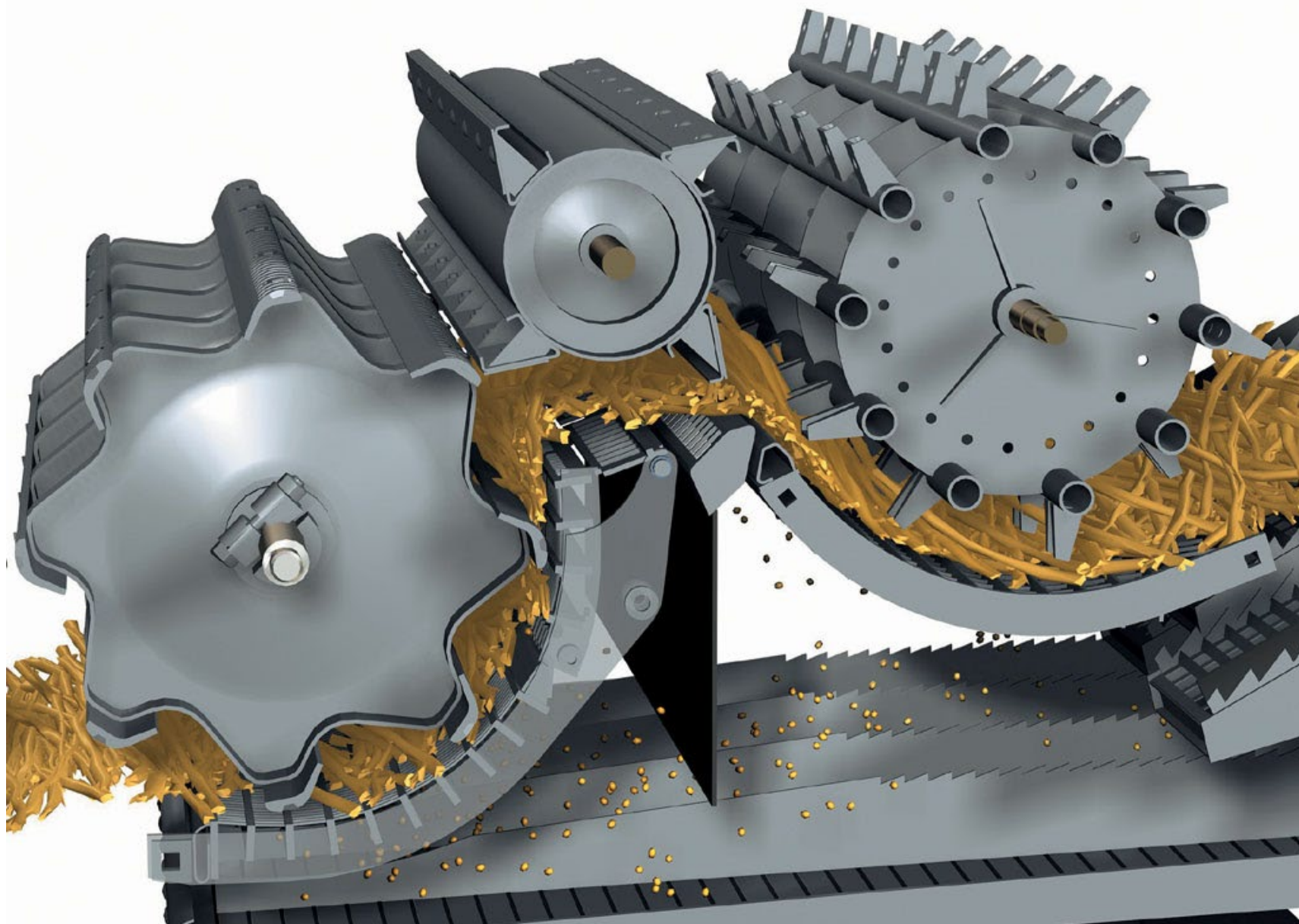
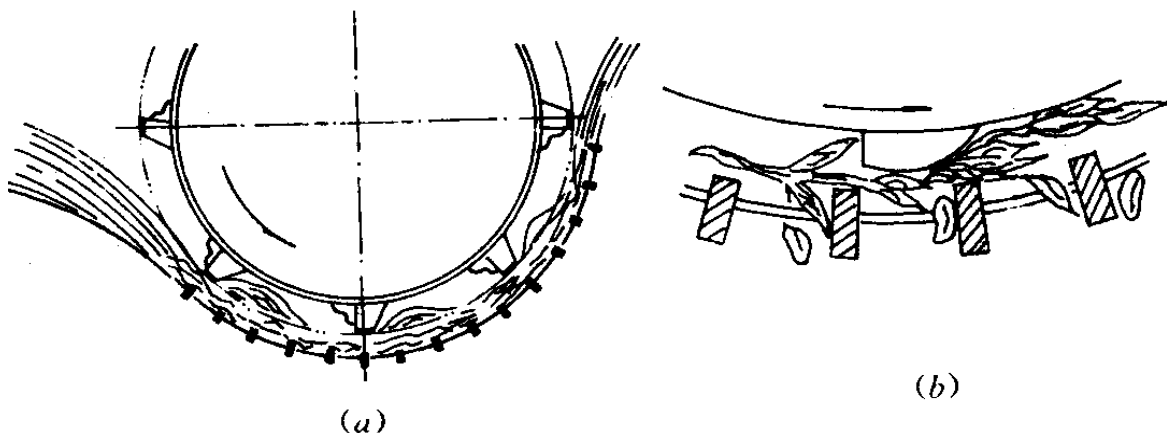


图 3—6 切流式纹杆滚筒脱粒装置





- 谷物进入脱粒装置，即受到纹杆多次冲击，多数籽粒在凹板前端被脱下，随着脱粒间隙的逐渐变小，以及靠近凹板表面的谷物运动较慢，而靠近纹杆的谷物运动较快等原因，谷物受到的揉搓作用愈来愈强，呈现起伏状态向出口移动，同时产生高频振动，脱下其余的籽粒。概括来说，在脱粒过程中前半部以冲击为主，后半部以揉搓为主，80%左右的籽粒可从凹板筛孔中分离出来，其余籽粒夹杂在茎秆中，从出口间隙抛出。



切流纹杆滚筒式脱粒装置的工作过程

(a) 纹杆工作示意图 (b) 凹板的脱粒作用

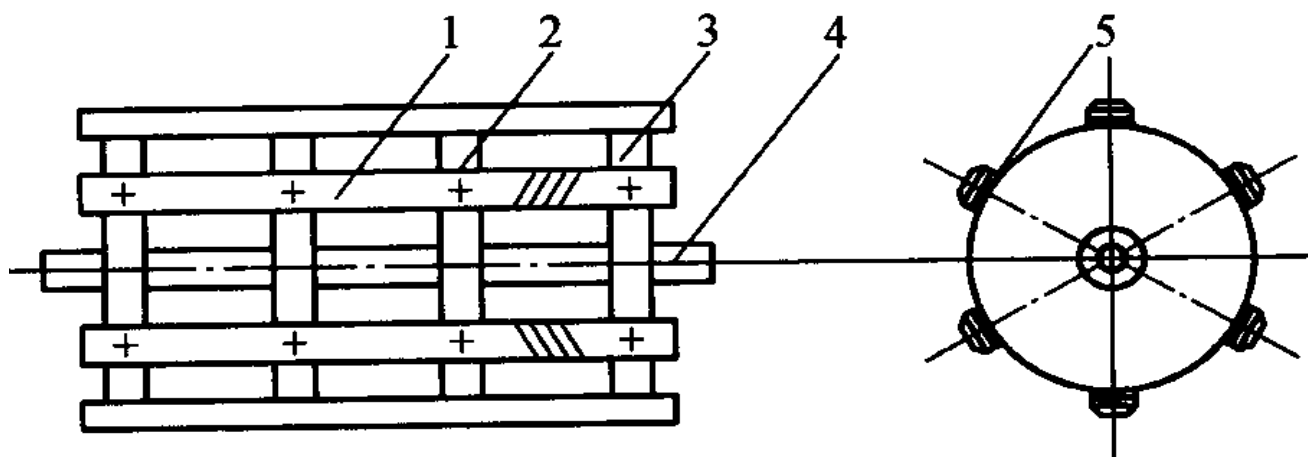


- 2、特点：以搓擦脱粒为主、冲击为辅，脱粒能力和分离能力强，断稿率小，有利于后续加工处理，对多种作物有较强的适应能力，特别适用于小麦收获，多用于联合收获机上。但当喂入不均匀、谷物湿度大时，脱粒质量明显下降



3、主要结构参数

- 纹杆数量: $m=6\sim 8$
- 滚筒转速: $n=750\sim 1400\text{r} / \text{min}$
- 凹版包角: $\alpha=100\sim 120^\circ$
- 脱粒间隙: 入口 $16\sim 22$ / 出口 $4\sim 6$



1. 纹杆 2. 中间支承圈 3. 幅盘 4. 滚筒轴 5. 纹杆座



三、切流釘齒滾筒式脫粒裝置

1、組成：

- 釘齒滾筒和釘齒凹板

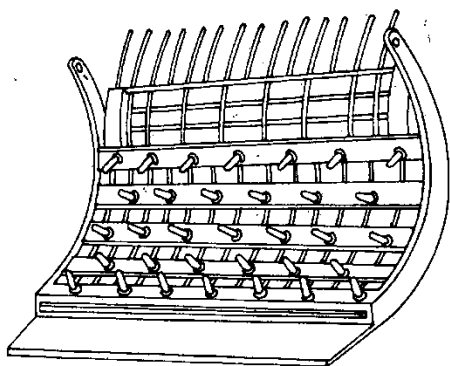
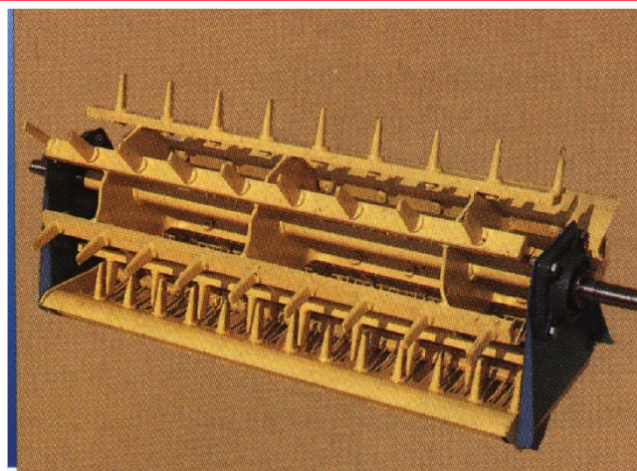


图 3—18 整体式釘齒凹板

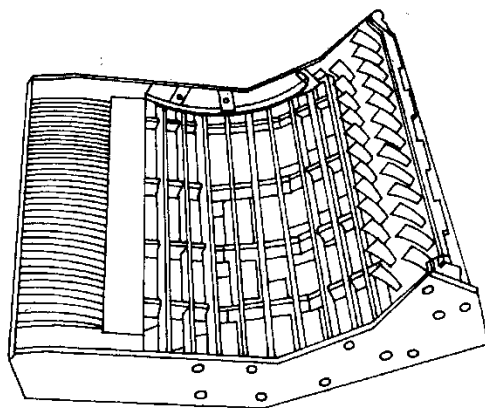


图 3—19 組合式釘齒凹板

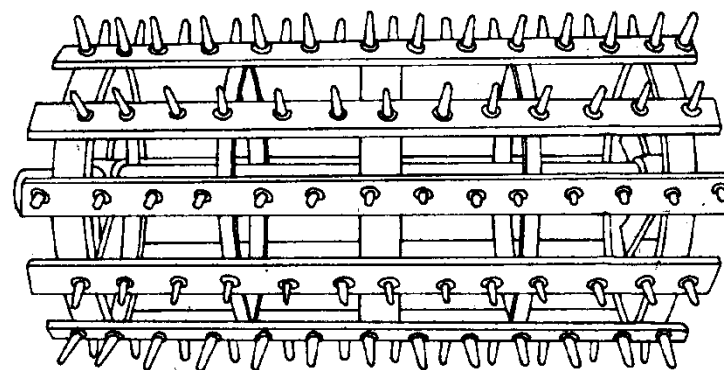


图 3 16 釘齒滾筒

- 2、特点：利用钉齿对谷物的强烈冲击以及在脱粒间隙内的搓擦而进行脱粒。抓取能力强、对不均匀喂入和潮湿作物有较强的适应性。但由于断秆率较高，分离效果较差，对分离装置和清粮装置的工作造成一定的困难。

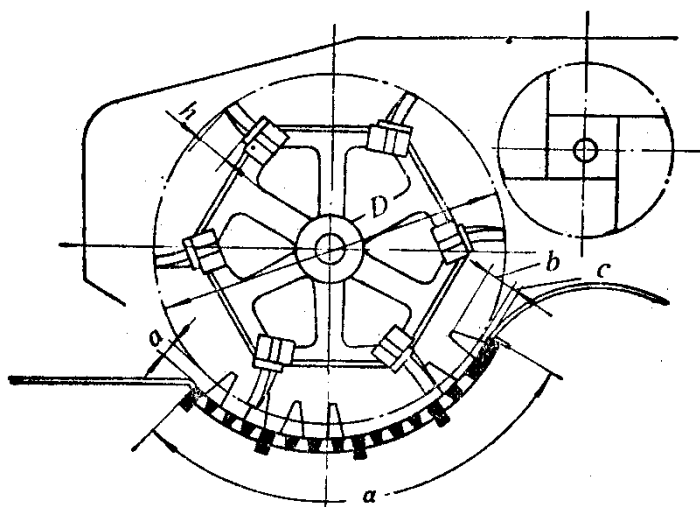


图 10—21 钉齿滚筒脱粒装置

a. 入口间隙 b. 重合度 c. 出口间隙 h. 齿高 α. 包角

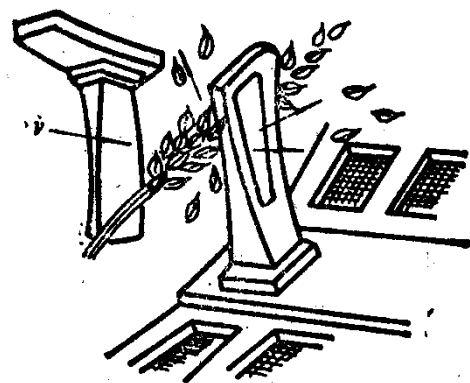


图 10—22 钉齿的脱粒作用



(1) 钉齿滚筒

- 钉齿按螺旋线分布成排地固定在齿杆上。脱粒机上常用的钉齿有板刀齿、楔齿和弓齿。板刀齿薄而长，抓取和梳刷脱粒作用强，对喂入不均匀的厚层作物适应性好，打击脱粒的能力也比楔齿强。由于其梳刷作用强，齿侧间隙又大，使脱壳率降低，这是板刀齿脱水稻的一个优点。

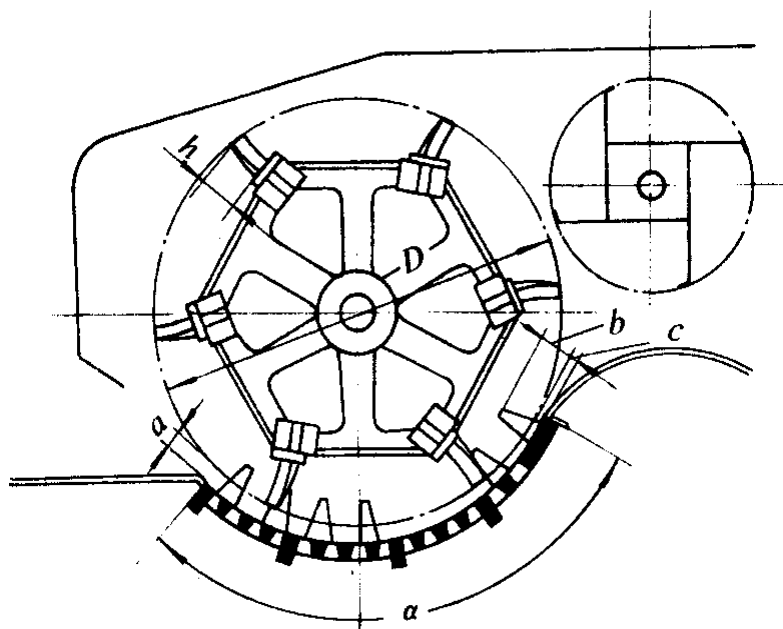


图 钉齿滚筒脱粒装置
a.入口间隙 b.重合度 c.出口间隙 h.齿高 α.包角

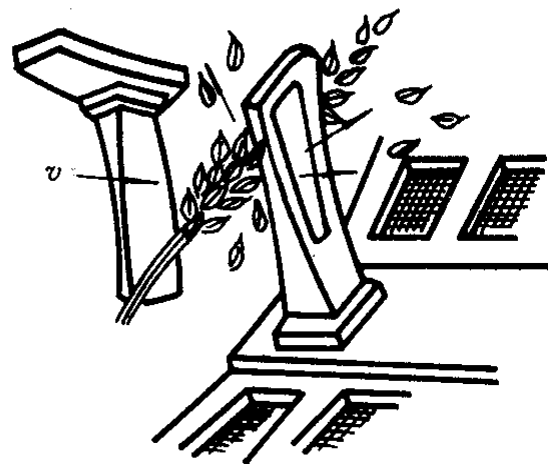
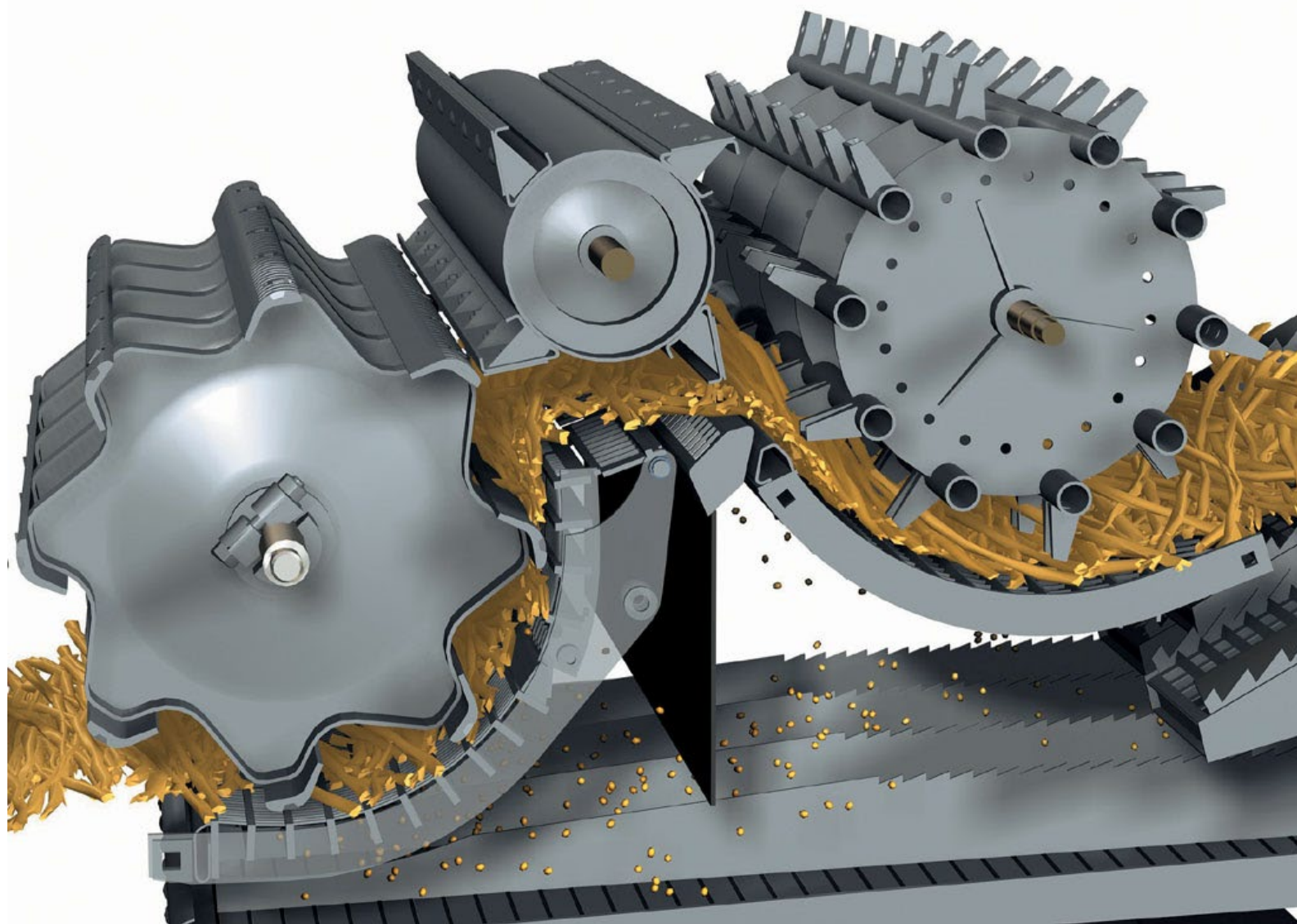


图 钉齿的脱粒作用





(二)钉齿的排列,滚筒长度和直径

- 滚筒生产率取决于钉齿的多少。但是钉齿的排列对脱粒性能有很大的影响，如果钉齿数量一定，而一个钉齿的运动轨迹内只有一个钉齿通过，则不仅生产率很低，而滚筒必须很长。因此，设计时总是让若干个钉齿在同齿迹内回转。为了工作均匀，这些齿在同一齿迹内应是均匀分布的。这就形成了按多头螺旋线来排列钉齿。





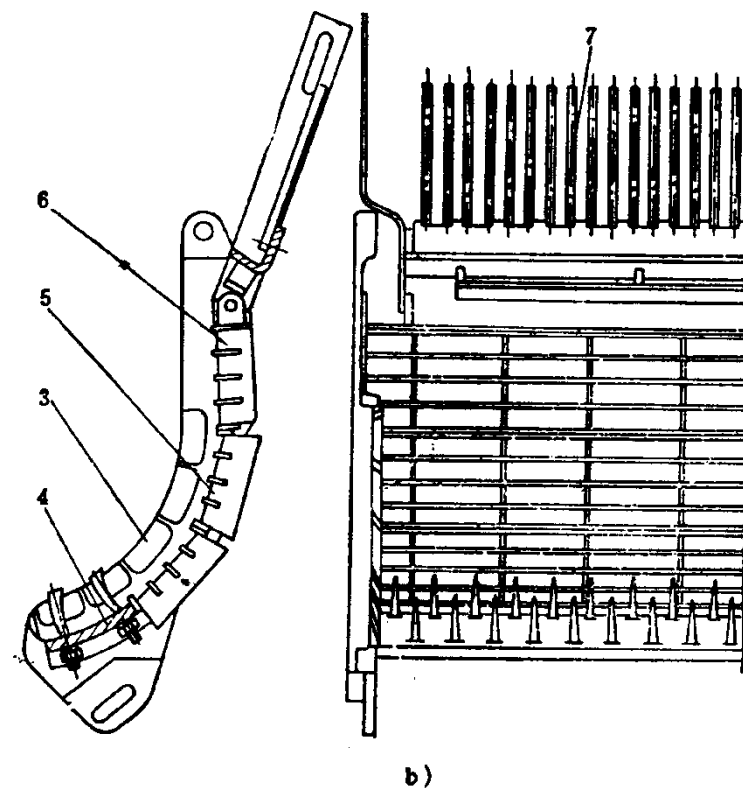
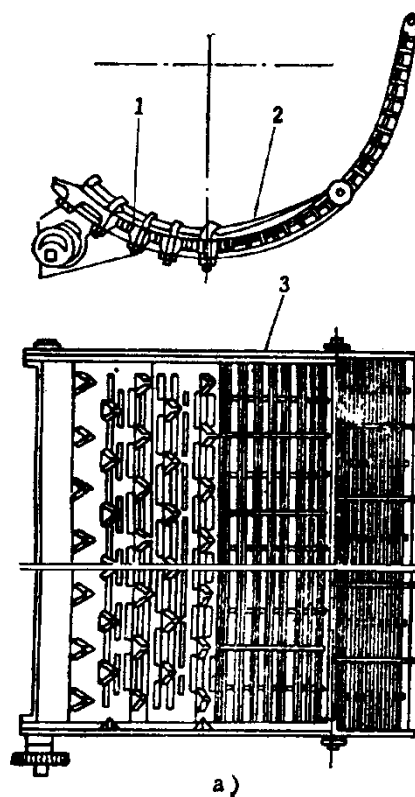
(三) 凹板

- 钉齿滚筒的凹板有组合式和整体式两种。组合式凹板由钉齿凹板、栅格凹板、侧弧板等组成。整体式凹板的钉齿直接固定在格板上。

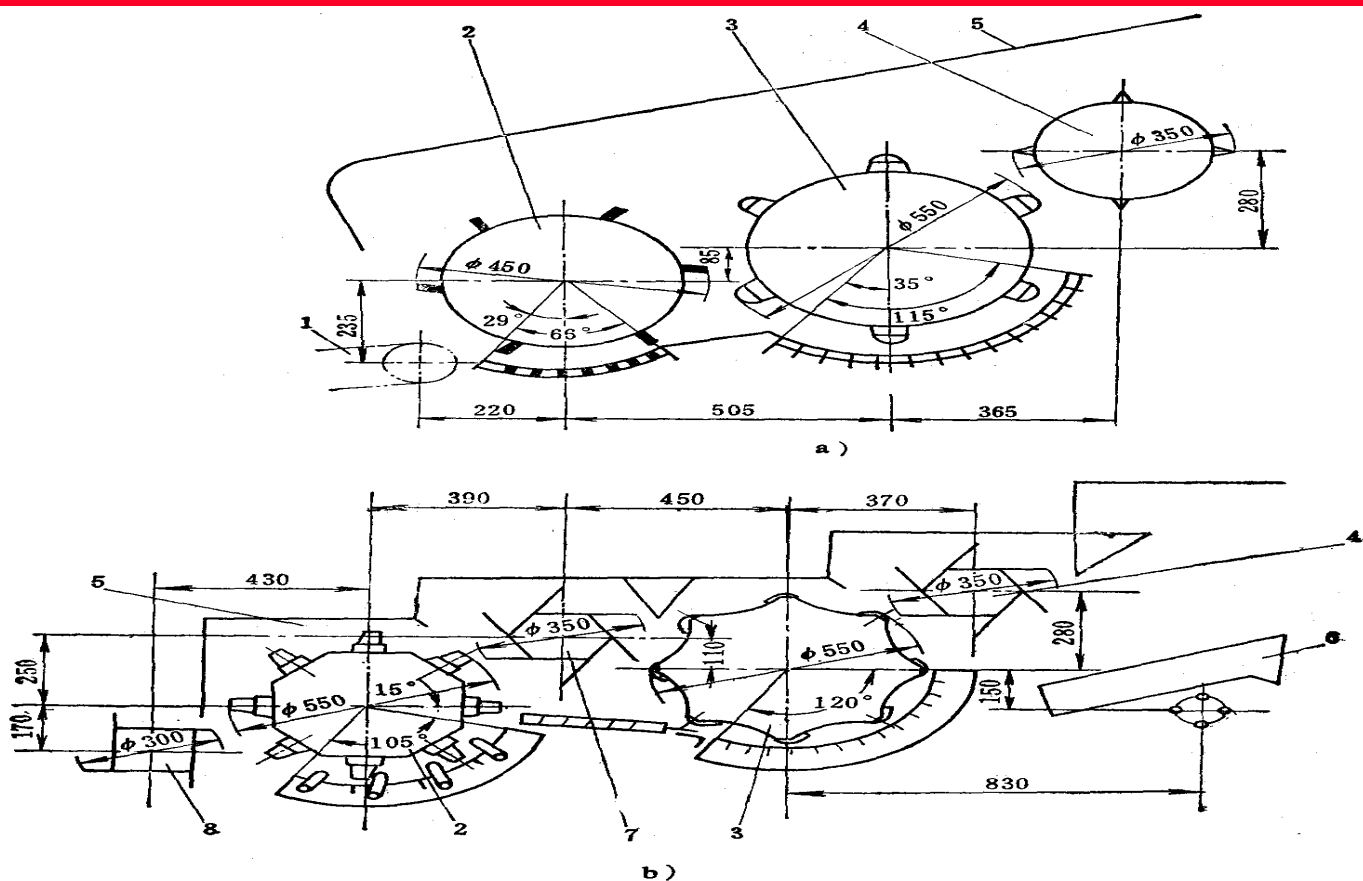
图 钉齿凹板

a) 整体式 b) 组合式

1. 齿板 2. 栅格板 3. 侧弧板 4. 钉齿凹板
5. 栅格凹板 6. 后栅格凹板 7. 尾栅条



四.双滚筒脱粒装置



双滚筒脱粒装置 a) 双滚筒 b) 带中间轮的双滚筒

1. 喂入输送装置 2. 钉齿滚筒和凹板 3. 纹杆滚筒和凹板

4. 逐稿轮 5. 顶盖 6. 逐稿器 7. 中间轮 8. 喂入轮



(一) 特点

- 双滚筒脱粒装置采用两个滚筒串联工作。第一个滚筒的转速较低，可以把成熟的好、饱满的籽粒先脱下来，并尽量在第一滚筒的凹板上分离出来。同时可使喂入的谷物层均匀和拉薄。第二个滚筒的转速较高，间隙较小，可使前一滚筒未脱净的谷粒完全脱粒。



(二) 结构形式与配置

- 双滚筒脱粒装置的第一滚筒大多采用钉齿式滚筒，第二滚筒为纹杆式滚筒。个别的机型上两个滚筒均采用纹杆式滚筒。第一滚筒用钉齿式有利于抓取作物，脱粒能力也强。第二滚筒用纹杆式有利于提高分离率，减少碎茎秆，这种形式适用于收获稻麦。双纹杆式滚筒仅用于收获小麦。



(三) 脱粒速度与间隙

- 第一滚筒的脱粒速度约比单滚筒脱粒装置减低 $1/2 \sim 1/3$ 。第二滚筒则可低 $2-3\text{m/s}$ 。
- 第一滚筒的入口间隙一般与单滚筒的相同或稍大。第二滚筒的入口间隙减小 $1/3$ 左右，前后两滚筒的出口间隙则均可比单滚筒脱粒装置用得稍大。



(四) 生产率与间隙

- 其生产率一般比单滚筒提高30—65%。双滚筒的配置设计合理时，1kg/s喂入量的功率消耗比单纹杆滚筒式脱粒装置仅增加15—20%。

五.轴流滚筒脱粒装置

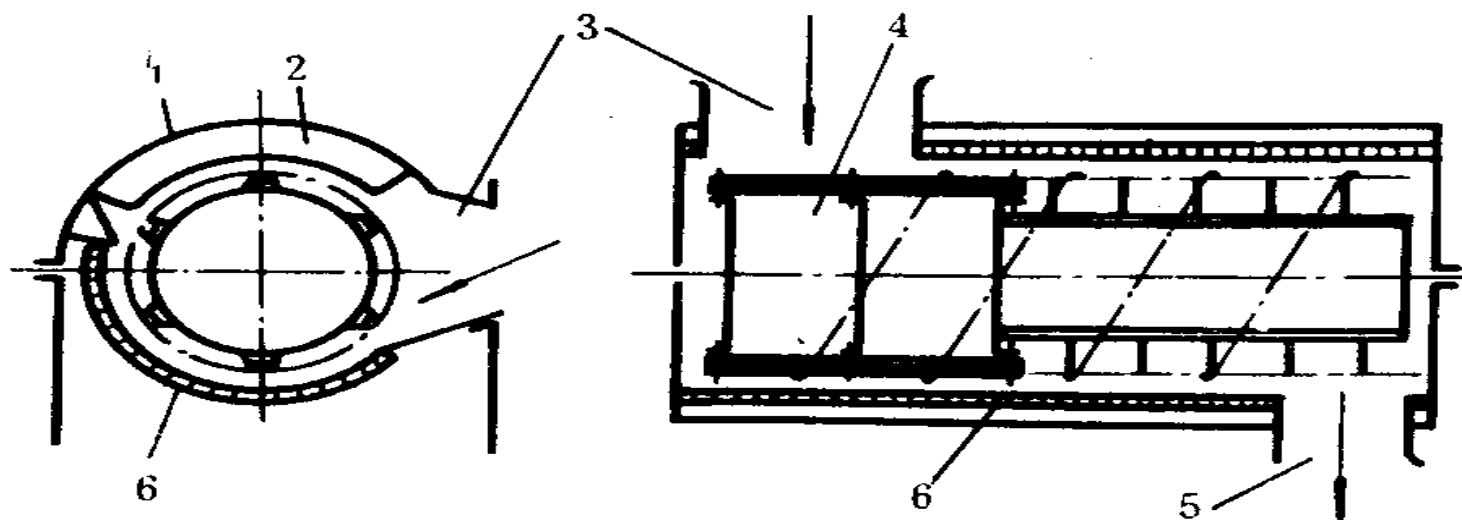


图 轴流式脱粒装置

- 1.顶盖 2.螺旋倒板 3.喂入口 4.纹杆和钉齿组合滚筒
5.排除口 6.栅格式凹板



(一) 轴流式滚筒脱粒装置的类型：

- 按谷物喂入滚筒的方向不同可分为纵向轴流式，即谷物轴向喂入，轴向排出；横向轴流式脱粒装置；以及切流轴流组合式

(二) 轴流式滚筒脱粒装置的构造及参数选择

- 1. 滚筒
- 滚筒上的脱粒部件一般为纹杆式或杆齿式、板齿式，或纹杆与杆齿组合式。

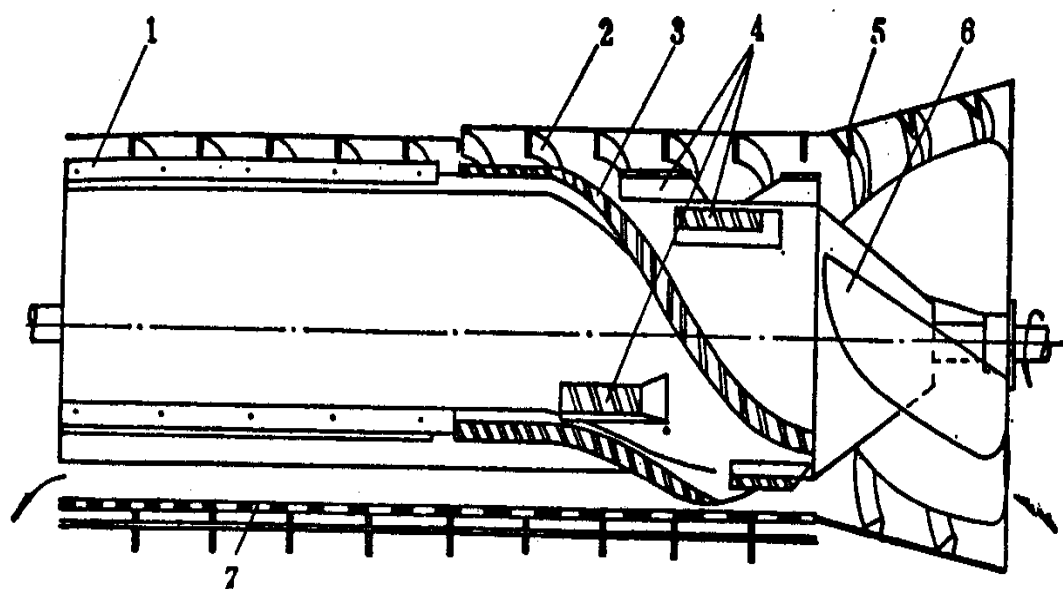


图 轴向喂入 轴向排出式轴流滚筒

(用于联合收获机.直径762mm, 喂入量约6kg/s小麦)

1.分离段叶片 2.脱粒段导板 3.螺旋线脱粒纹杆 4.附加脱粒纹杆 5.喂入导板
6.喂入螺旋叶片 7.分离段凹板(栅格)



-
- 2. 凹板与上盖
 - 凹板的型式有编织筛式、冲孔式和栅格式三种，其中栅格式凹板的脱粒和分离能力最强、虽然茎秆的破碎较重、但仍是较广泛应用的一种。



(三) 脱粒速度与脱粒间隙

- 由于轴流滚筒式脱粒装置对谷物的脱粒时间较长，滚筒转速和间隙有少许变化对脱粒质量的影响不大，因而对安装间隙和速度调节要求不很严格，这也是它的一个优点。



(四) 生产率和功率耗用

- 轴流滚筒式脱粒装置的生产率与滚筒尺寸、凹板结构、作物状况和功率配备的情况有密切关系。概括说来，在脱粒机上每米滚筒长度约可负担的喂入量为0.6—0.7kg/s；分离面积大、在脱粒机上带有输送装置的可取较大值，在联合收获机上可增大一倍或一倍以上。若以分离面积计，则单位喂入量所需凹板分离面积为0.5—0.7m²/kg/s。



- 轴流式滚筒功率耗用受作物物理机械特性影响较大，比传统型更为敏感，喂入作物长度、含水率的影响均较大。
- 采用大直径的轴流式滚筒有减少单位喂入量功率耗用的趋势。在脱小麦和整株玉米时为 $5.7-7.4\text{kW/kg/s}$ ，脱大豆和玉米穗为 $2.6-4.8\text{kW/kg/s}$ ，而脱水稻时为 $8.1-9.2\text{kW/kg/s}$ ；其中用于脱茎叶的功率耗用大致占60%以上。在脱粒全过程中，喂入脱粒段的功率耗用为82%，用于分离排草段为18%；而在横向轴流式脱粒机上分别为65%与35%。

六.半喂入式脱粒装置



1.前滑板 2.凹板筛 3.夹持台 4.夹持输送链 5.防夹带板 6.弓齿 7.滚筒 8.切刀 9.排杂副滚筒 10.振动筛 11.振动滑板 12.固定线筛 13.谷粒推运器 14.风扇



工作原理和主要参数

- (一) 滚筒
- 滚筒喂入端为一段截锥体（锥角一般约50°左右，宽50毫米左右），便于谷物轴向喂入。滚筒上设有多种弓齿，常用的型式如图所示。

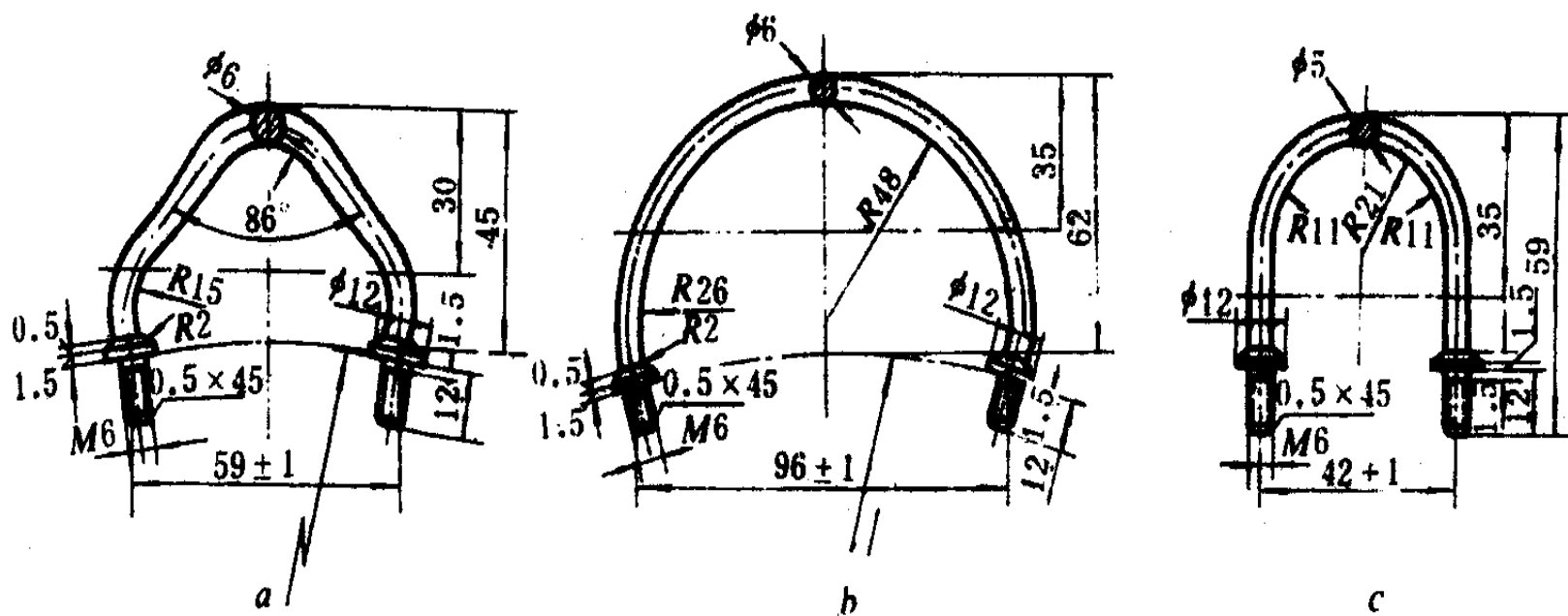


图 半喂入脱粒装置的梳整齿

1.第一梳整齿 2.第三梳整齿 3.梳整齿的内齿



(二) 凹板

- 凹板有编织筛式和栅格式两种。前者处理断穗能力强，断穗量少，但分离能力较差，谷粒损失会多些，湿脱时易堵塞；后者的性能正相反，干脱时碎草要多些。前者结构简单，常用于脱粒机上；后者在联合收获机上较普遍。



(三) 排杂装置

- 排杂装置由排杂轮和筛板组成，设在排杂口后方，用以排出脱下的碎草、断穗，并将谷粒分离出来。排杂轮直径为200—250mm，长100—150mm。其上齿高约40mm，并后倾30°安装。齿距为30—70mm，齿顶线速度4—5m/s，筛板与编织筛凹板相似。



(四) 夹持输送装置

- 由夹持输送链、夹持台和传动装置等组成。输送链的齿形链片与夹持台上下配合，并在横向左右交错以便将茎秆夹成曲折使其具有抗抽出的能力。

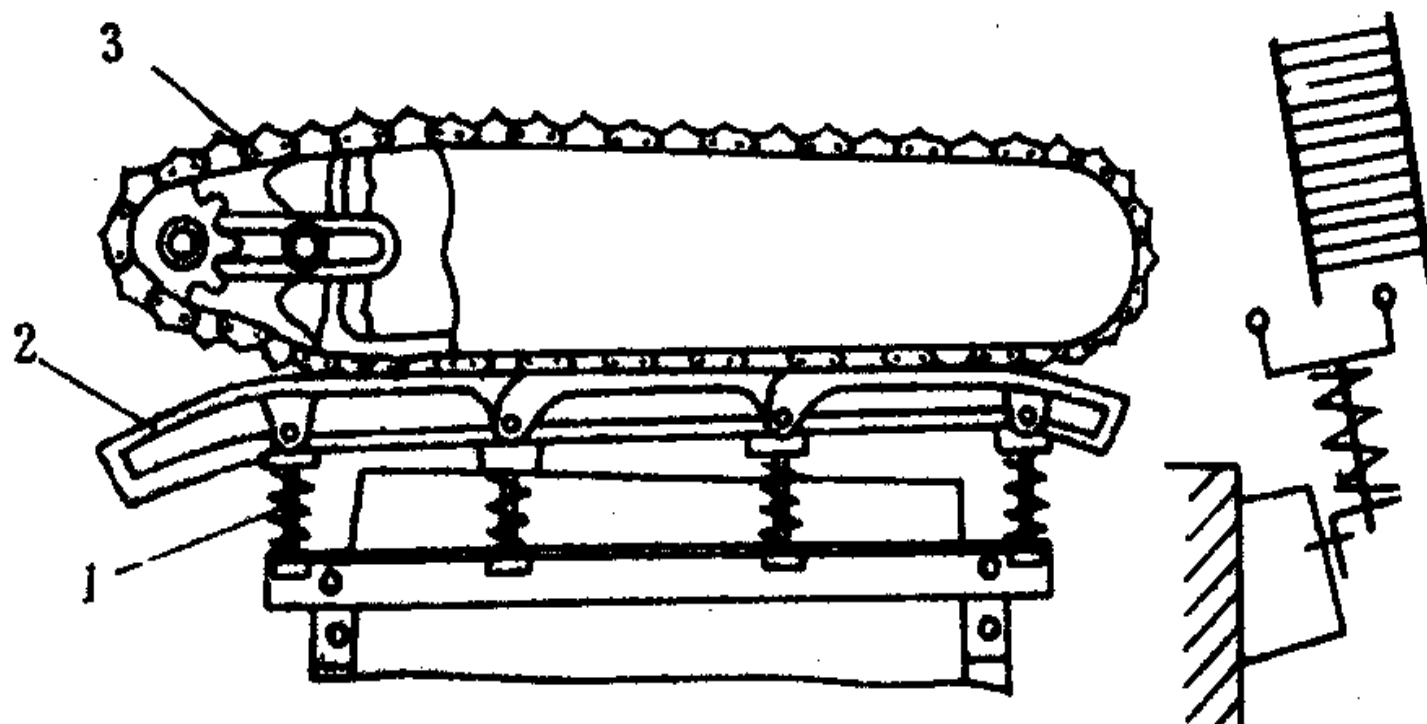


图 夹持输送机
1.弹簧 2.夹持台 3.夹持输送链



(五) 功率耗用与生产率

- 半喂入脱粒装置的功率耗用与滚筒型式、喂入量、谷物湿度等有关。一般脱水稻时单位喂入量功率耗用为 2.94kW/kg/s 。脱小麦时由于茎秆光滑、干燥、牵连性小，其单位喂入量功率耗用 2.2kW/kg/s 。由于夹持脱粒滚筒所需扭矩变化小，其最大功率为平均值的1.2倍。



七 脱粒滚筒功率耗用和运转稳定性

- 滚筒脱粒装置的脱粒是一个很复杂的过程，脱粒中的功率消耗在整机功率消耗中占较大的比重。如在脱粒机上约占70%，在联合收获机上占全部工作部件功耗的40%或以上。它运转的稳定与否直接决定了脱粒和分离作业的质量。



(一) 脱粒滚筒的功率耗用

- 滚筒在工作中的功率消耗在两上方面：第一，滚筒空转功率消耗，亦称为无用功率 L_1 ，它包括轴承内摩擦和空气对滚筒旋转的阻力所消耗的功率。第二，脱粒的有效功率 L_2 ，它是直接消耗在脱粒工作上的。



(二)对脱粒滚筒功率耗用影响的若干因素

- 无论何种型式的脱粒滚筒的功率耗用在达到某一量之前总是随后者呈直线规律上升。但试验表明在超过上述喂入量以后功率耗用会按曲线较快地上升。这是由于谷层厚度与压缩载荷原以弹性变形规律变化，但在超过该值后压缩变形很小，谷层密度大增，因而功率耗用也激增。如图

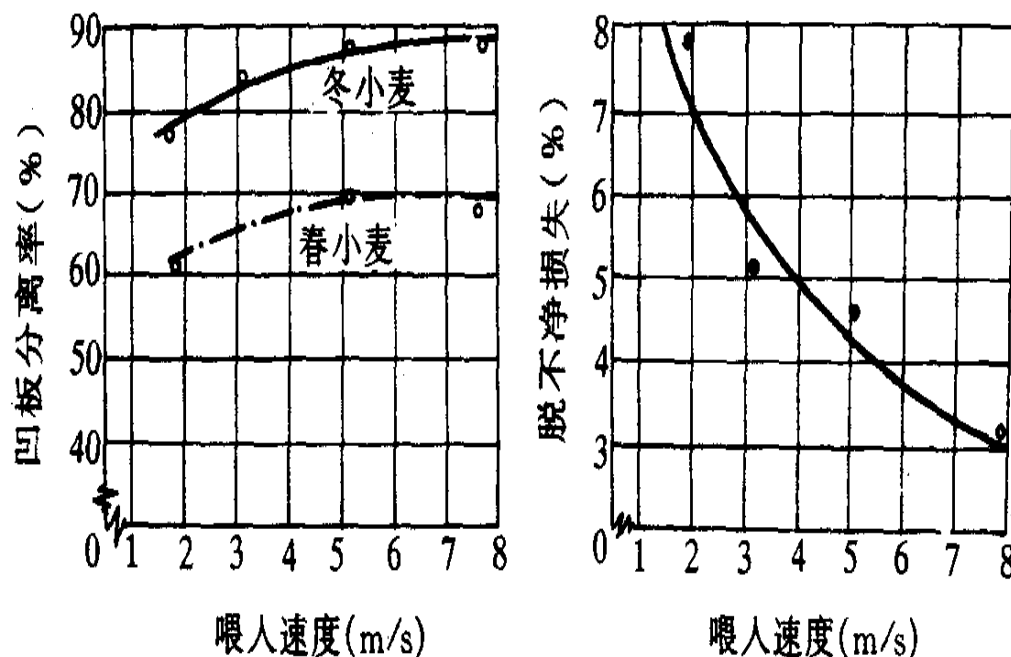


图 喂入速度对凹板分离率.脱不净率的影响



(三) 脱粒滚筒的运转稳定性

- 现代化联合收获机的发展方向是在增大生产率的同时提高作业质量。收获的损失主要原因是脱粒不净、谷粒破碎和分离不净，而这些损失与脱粒滚筒和逐稿器的转速波动有密切的关系。为此一般要求脱粒滚筒和逐稿器的转速波动不大于5—7%。



(四) 对发动机的要求

- 1. 应具有足够而适当的功率储备;
- 2. 发动机或脱粒滚筒应具备足够的转动惯量。
- 3. 联合收获机的发动机应用全程式调速器, 并应有足够的调速灵敏度。

八. 滾筒的平衡

- 由于结构设计、材质不均匀以及零件加工和装配误差等造成重心偏移，滚筒在高速旋转时产生很大的离心力。它使机器振动、轴承容易损坏。因此，对新制或修理后的滚筒必须进行平衡。假如在滚筒圆周上有200g不平衡质量作用着，当 $r=0.25\text{m}$ ， $\omega=100\text{1/s}$ 时，离心力可达500N之巨。

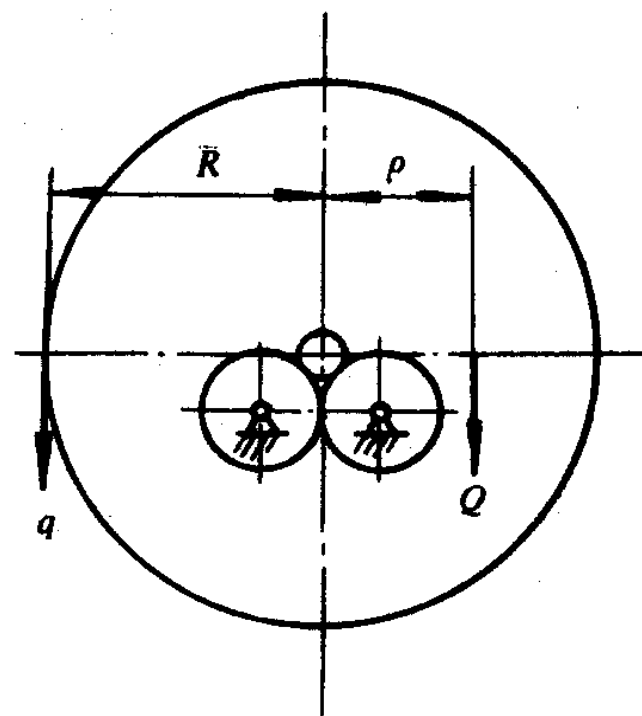


图 滚筒的平衡



思考题

- 1、谷物有哪五种脱粒方式？小麦和水稻最适合哪一种？
- 2、纹杆滚筒式脱粒装置的工作特点是什么？



第三节 分离装置及理论分析

- 一. 分离装置的基本类型
- 二. 双轴键式逐稿器的基本工作条件
- 三. 分离装置的功率消耗

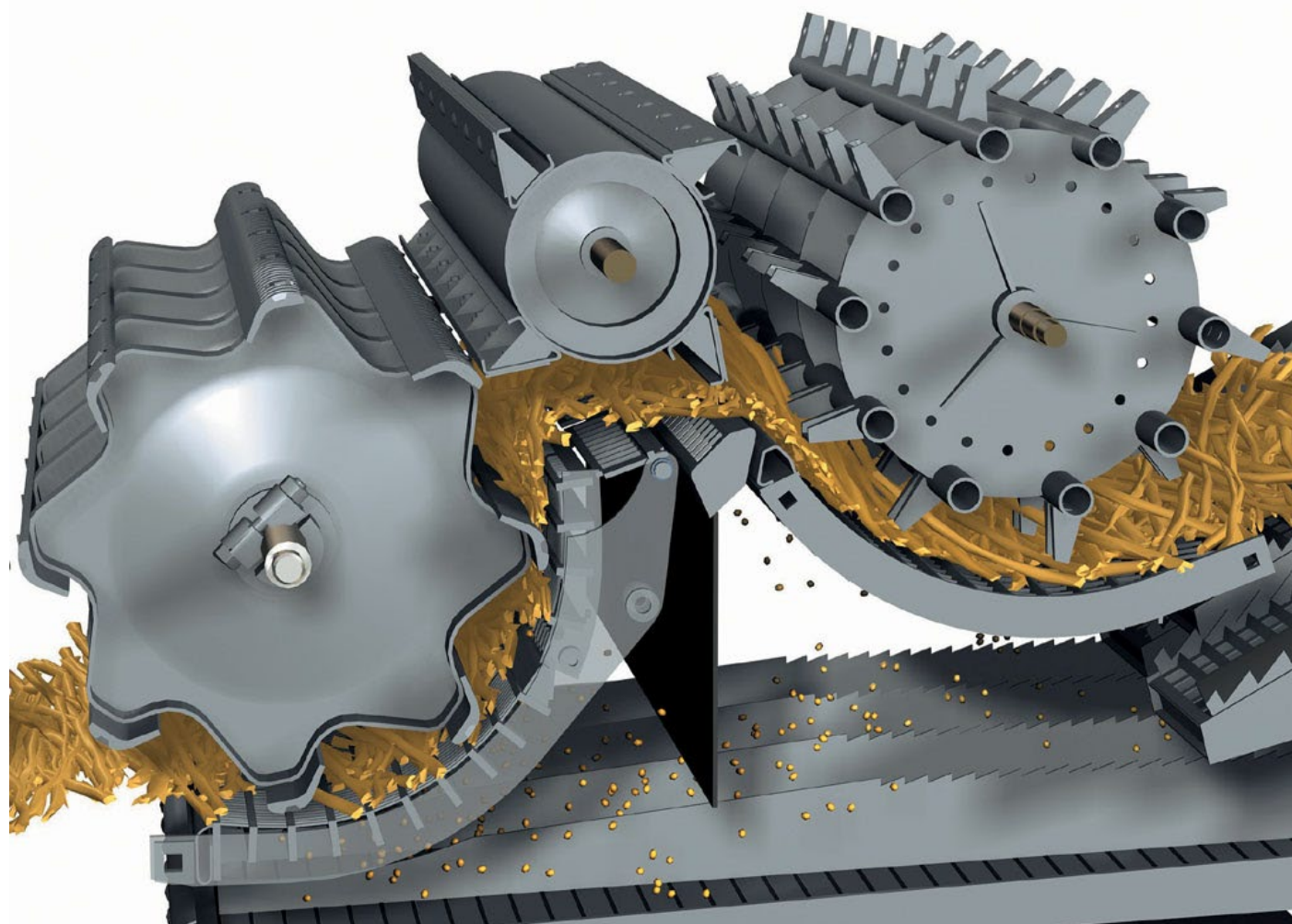


一. 分离装置的基本类型

- 只有全喂入式脱粒装置才设有分离装置，分离装置的功用就是将经脱粒装置排除的长脱出物中夹带的籽粒及断穗头分离出来，将长茎秆排出机外。由于分离原理不同，分离装置类型也不同。
- 目前常用的分离装置有：键式逐稿器、平台式逐稿器、分离轮式逐稿器等。后两种在脱粒机械或联合收获机上应用较少。



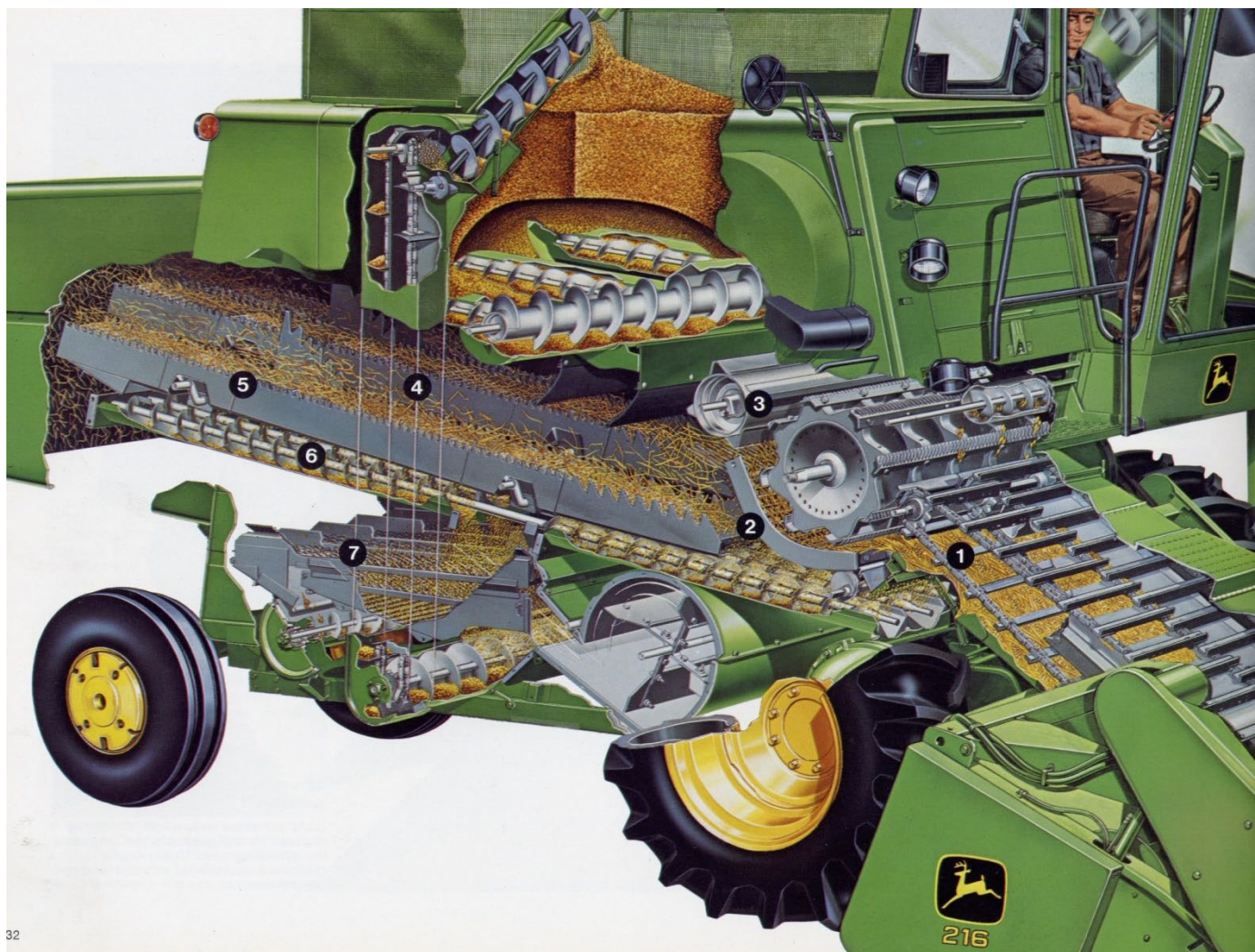
揚州大學



机械学院

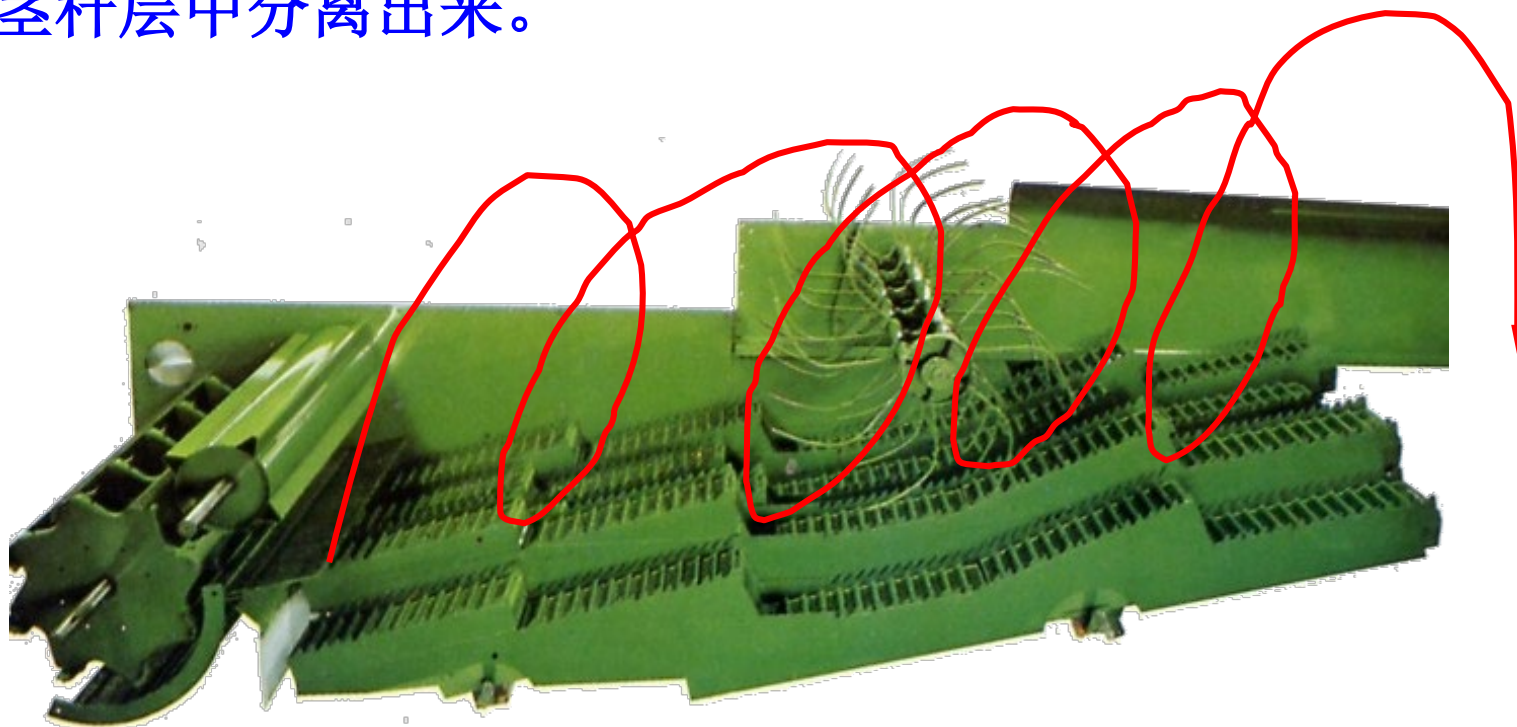


揚州大學



1. 利用抛扬原理进行分离

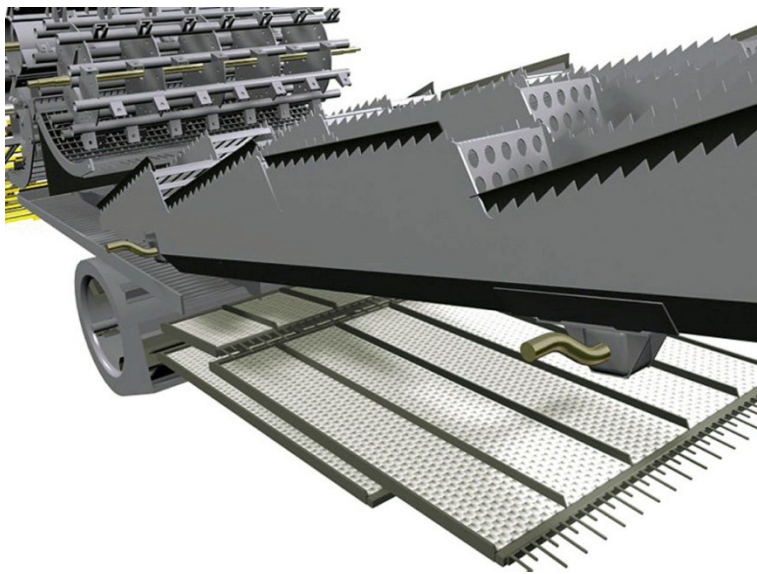
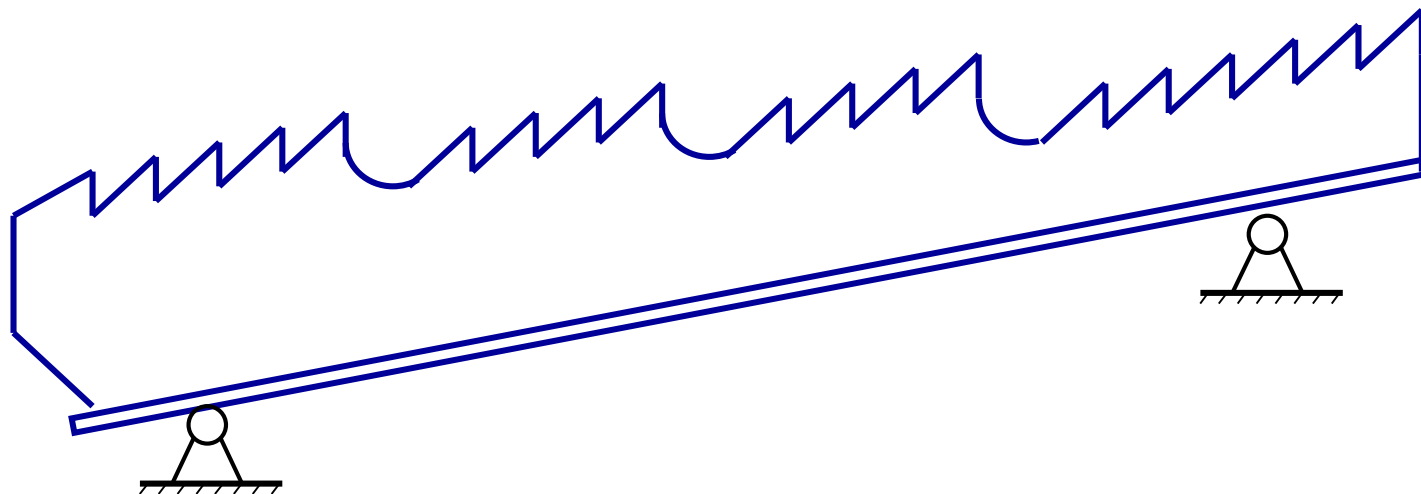
- 当分离机构对谷物茎秆层进行抛物体运动时，利用籽粒比重大、茎秆漂浮性能好的特性，将籽粒从松散的茎秆层中分离出来。





揚州大學

双轴键式逐稿器

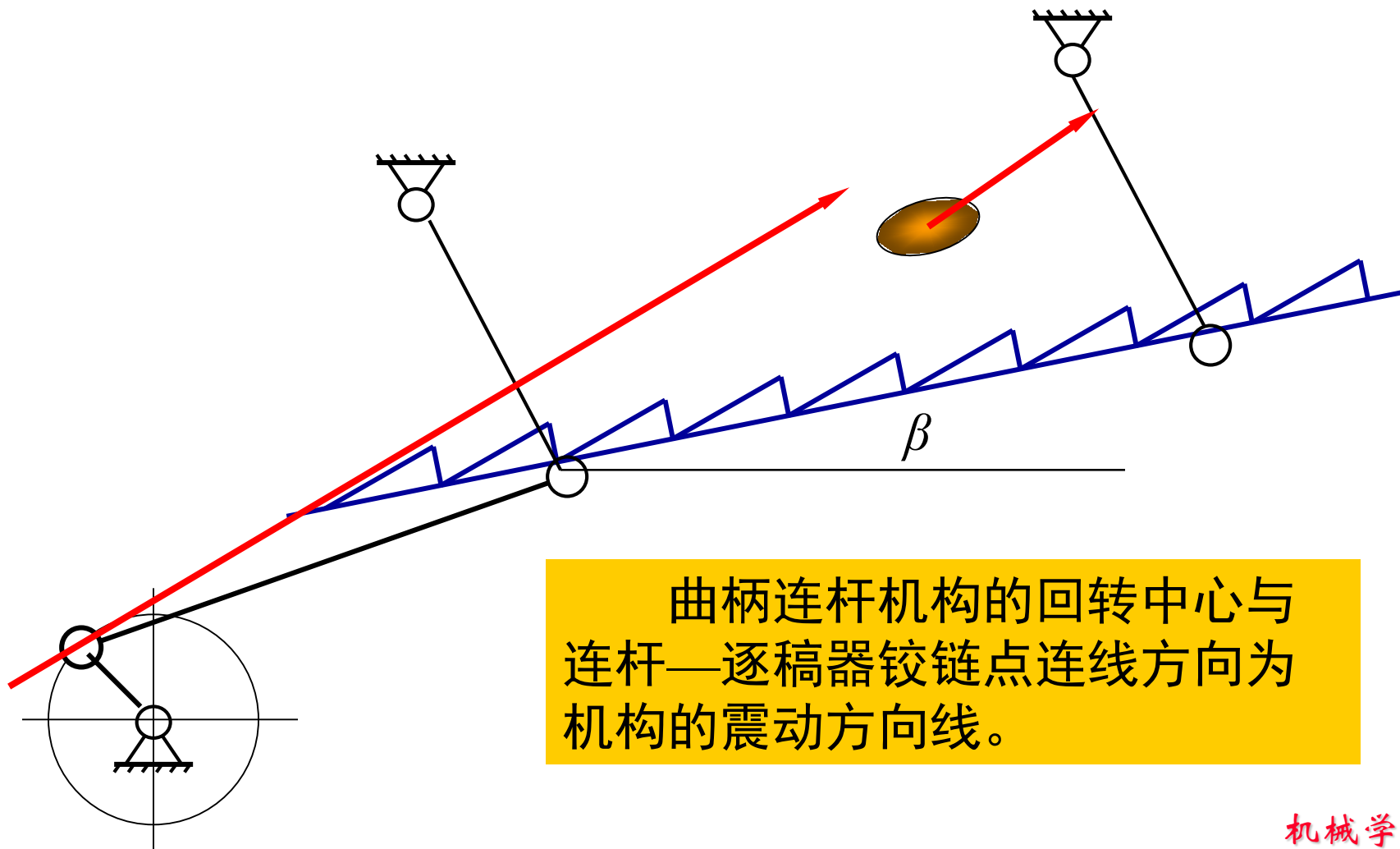


机械学院

平台式逐稿器



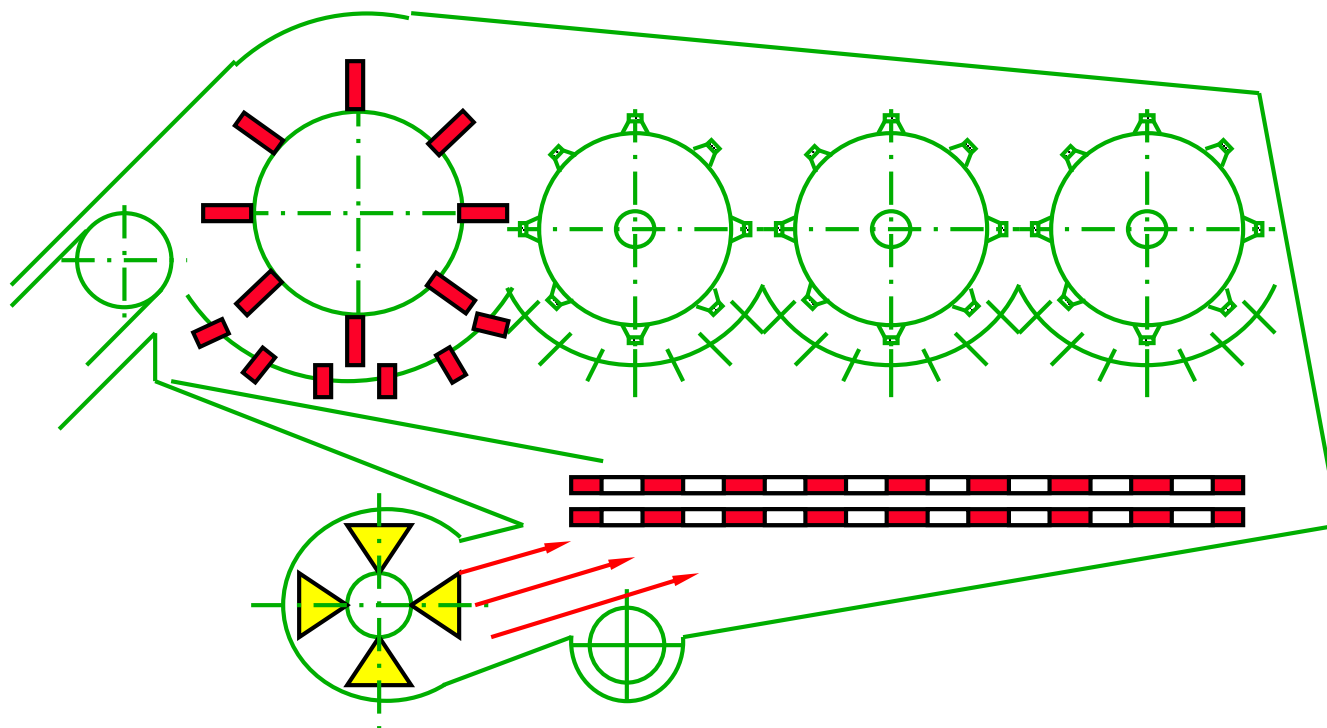
揚州大學



曲柄连杆机构的回转中心与
连杆—逐稿器铰链点连线方向为
机构的震动方向线。



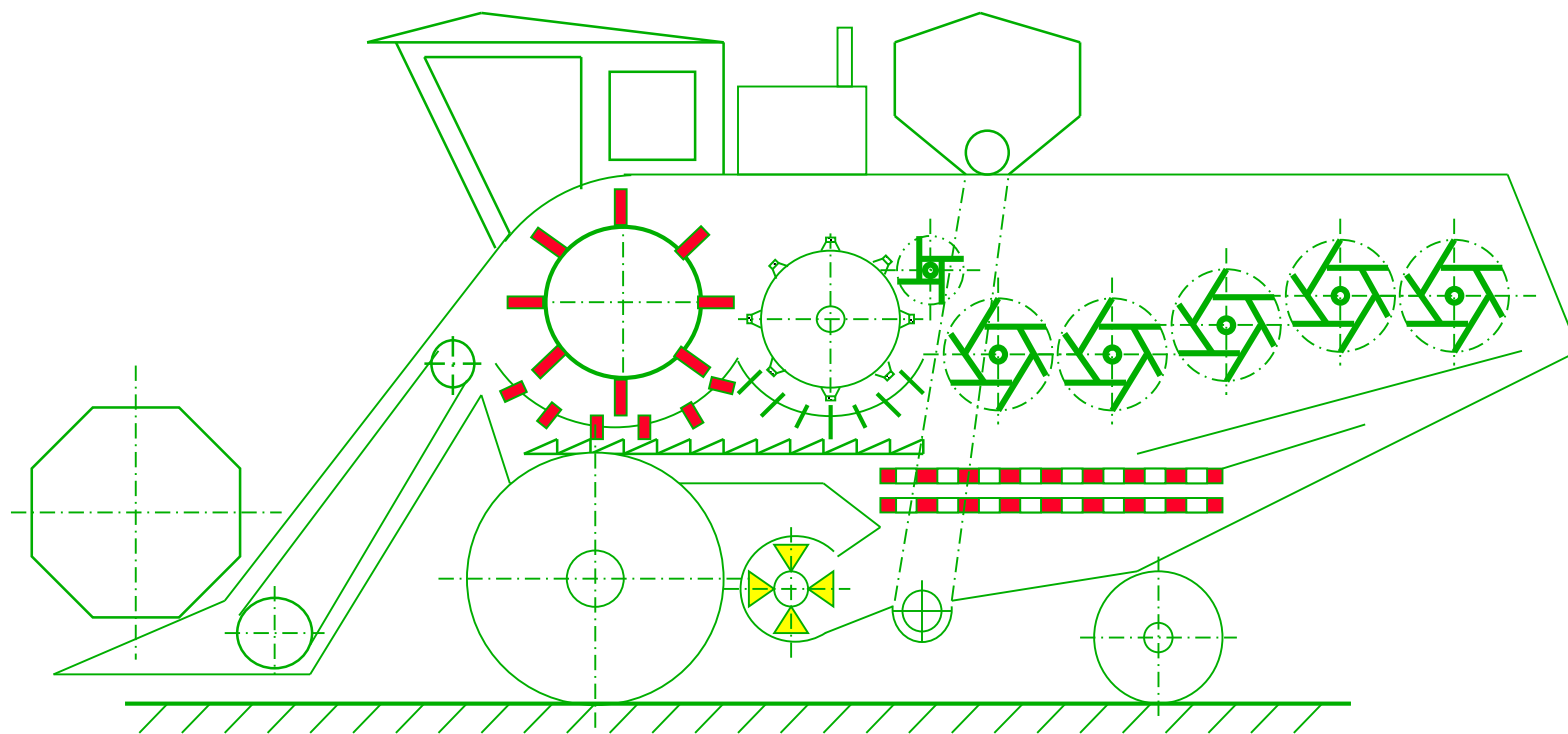
转轮式分离装置



前苏联 “谢维尔” 型脱粒系统中的转轮分离装置



揚州大學

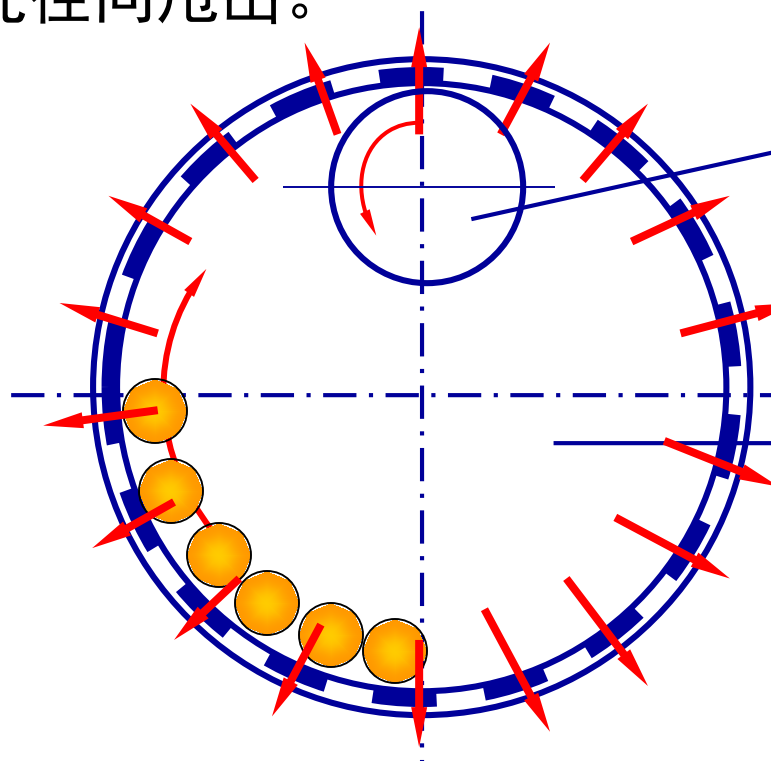


俄罗斯“威克—3”试验型双滚筒分离轮式联合收获机

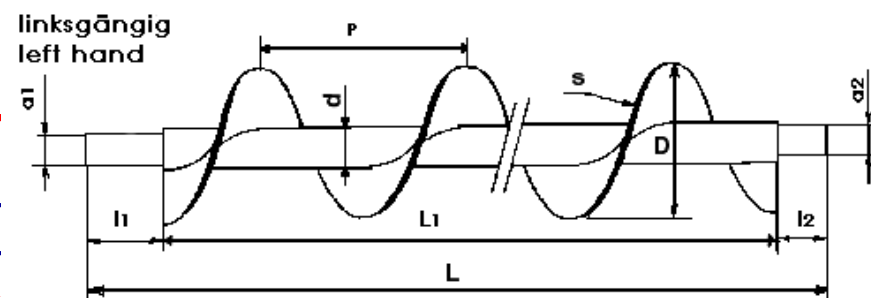


2. 利用离心原理进行分离

脱出物通过高速旋转的分离筒时，依靠比籽粒大许多倍的离心力将籽粒从茎秆层中通过分离筒周边的分离孔径向甩出。



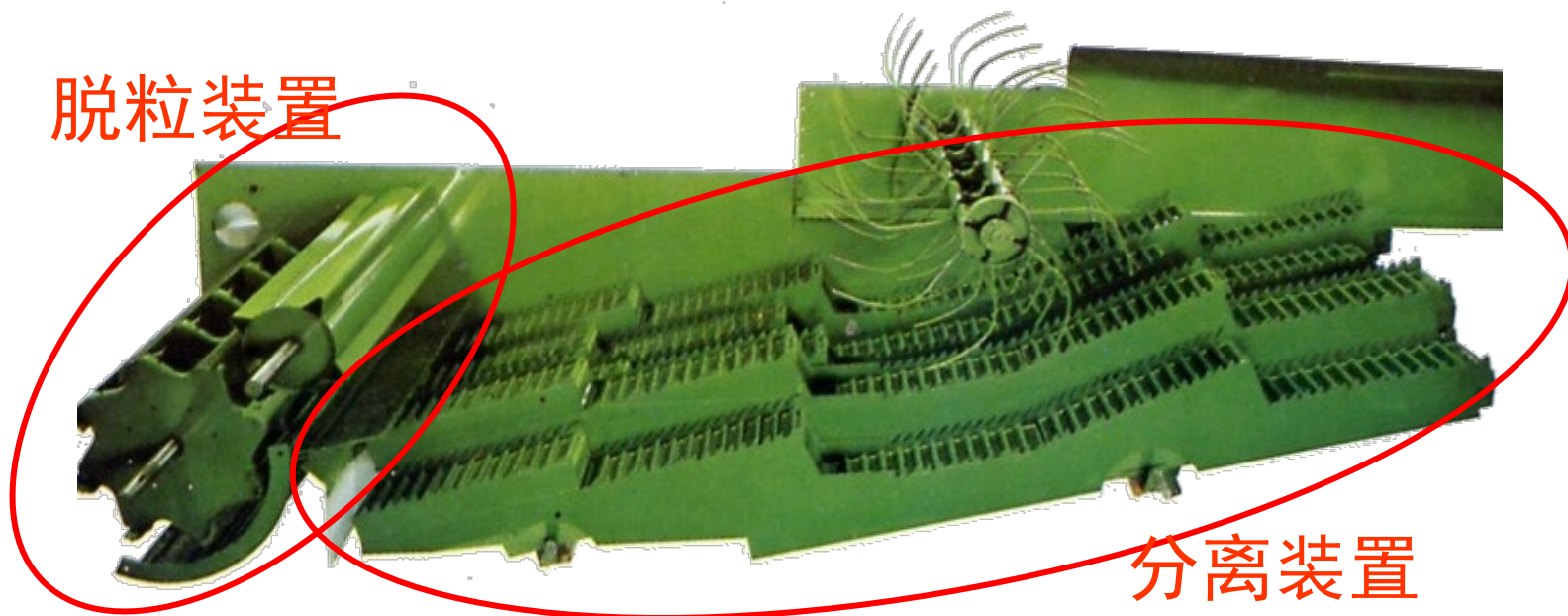
刮送螺旋



3. 目前分离装置存在的问题

- (1) 谷物分离损失大，主要表现在夹带损失（要求0.5~1%）；
- (2) 分离机构对负荷过于敏感；
- (3) 分离机构尺寸太大（占3/4）。

脱粒装置

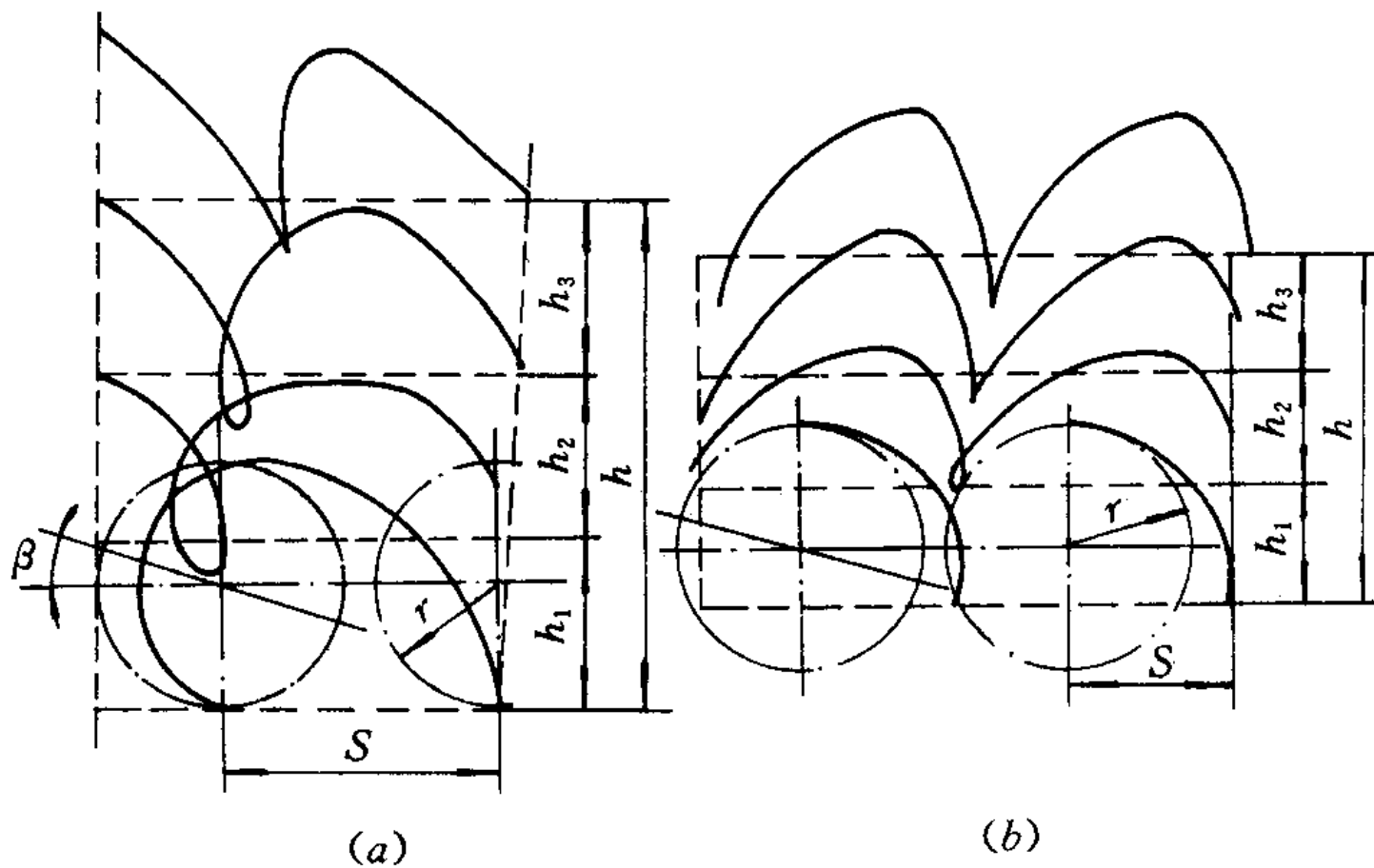


分离装置



二.双轴键式逐稿器的基本工作条件

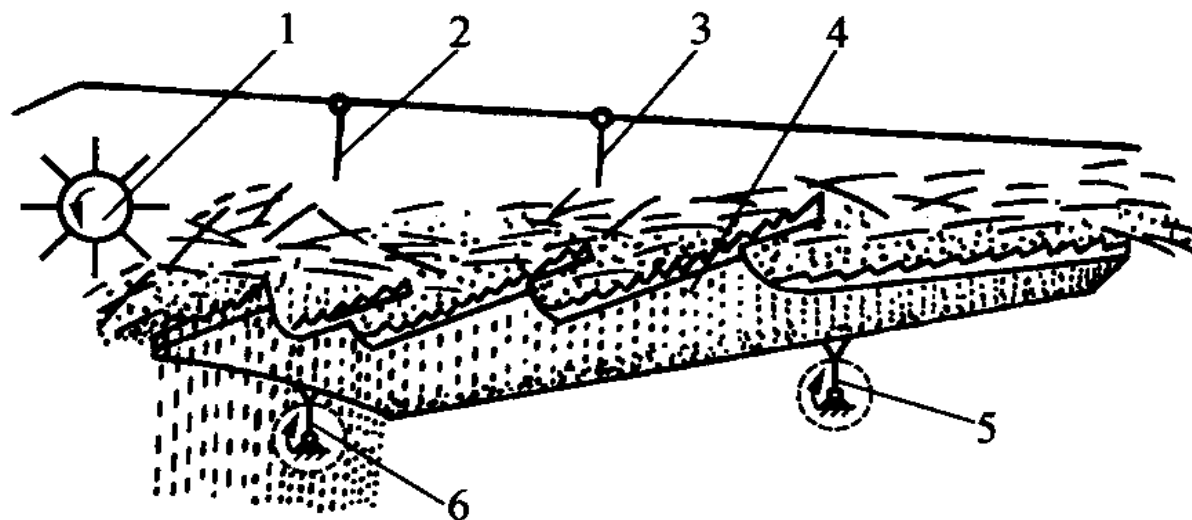
- 1. 分离过程：键式逐稿器工作时，在曲柄连杆机构的驱动下整个键箱做平面运动，脱出物被抛离键面后在空中做抛物体运动，这时，茎秆层处于松散状态，比茎秆比重较大的谷粒有较多的机会穿过茎秆层的空隙被分离出来。脱出物在抛扔过程中，长茎秆沿筛面向后输送，直至排出机外。



茎秆层的运动轨迹

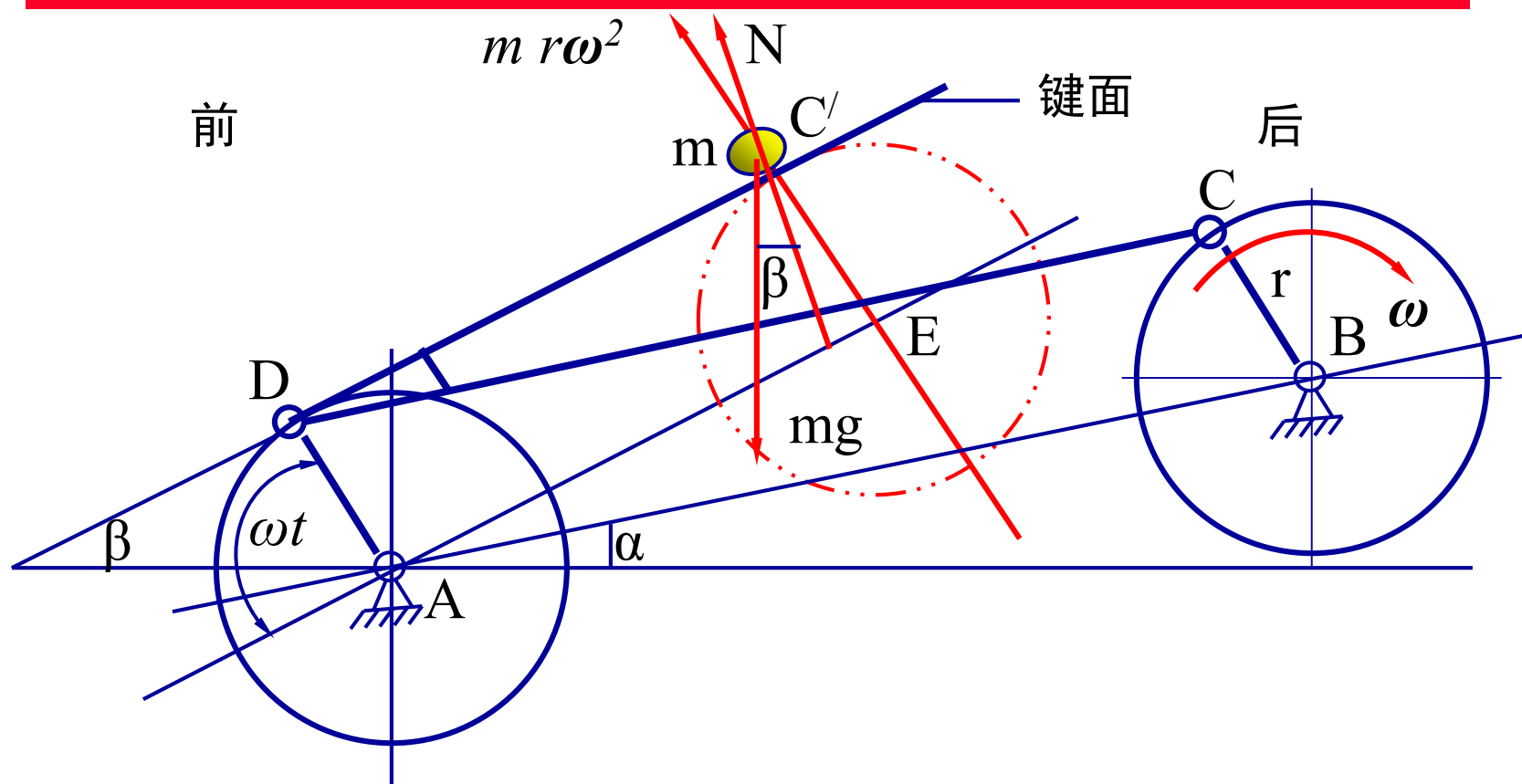
(a) $n=195\text{r/min}$ (b) $n=215\text{r/min}$

很显然，作抛物体运动的物料为了能使其分离的效果更好，要么增加抛扔高度，要么增加抛扔次数，而使脱出物能产生抛物体运动的基本条件是抛射速度和抛射角度。能使双轴键式逐稿器发生抛物体运动的结构参数和运动参数必须满足这一基本条件。

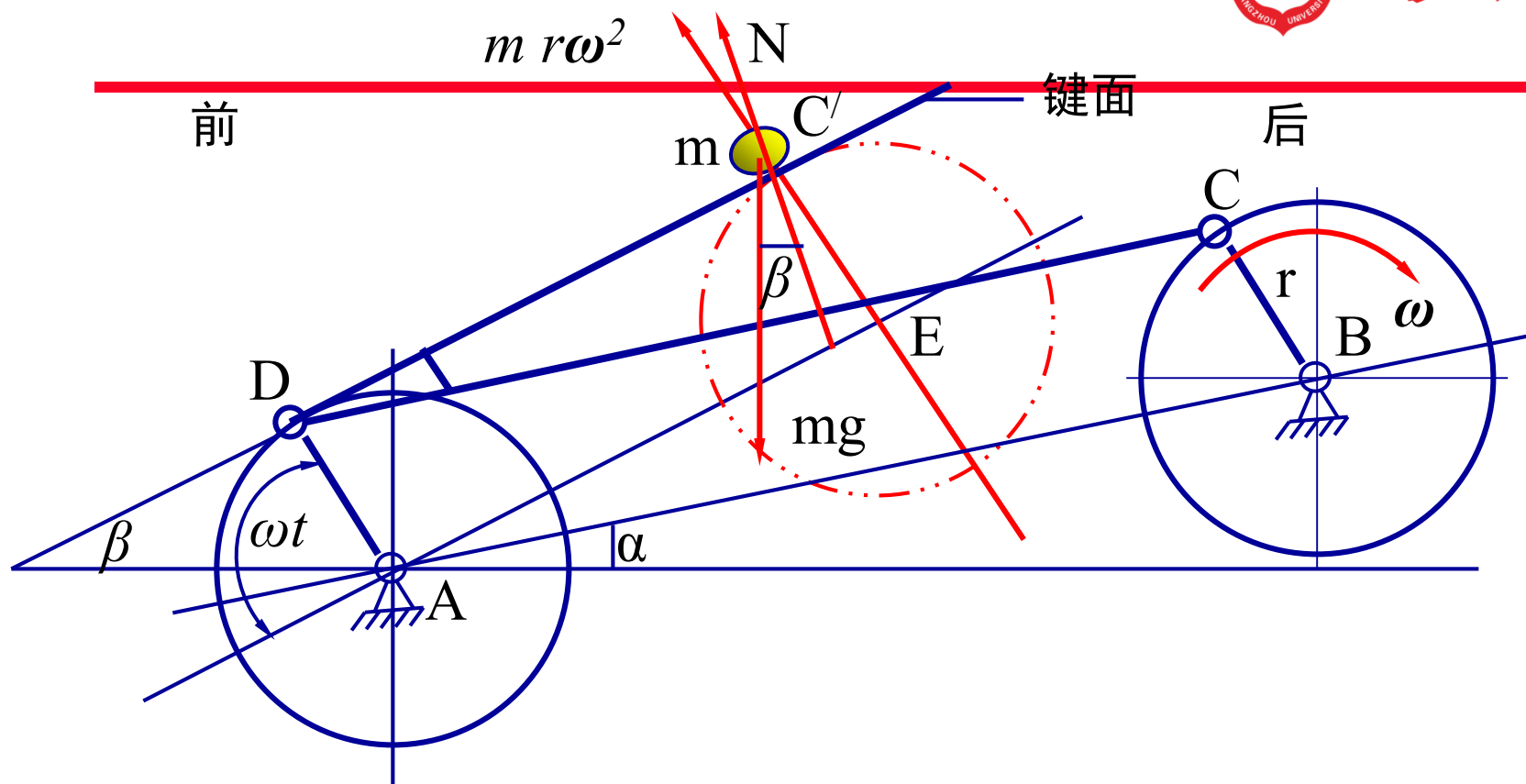


1. 逐稿轮 2. 前档帘 3. 后档帘 4. 键箱 5. 后曲轴 6. 前曲轴

2. 脱出物抛离键面的基本条件



假设键面与水平面的夹角为 β ，曲柄半径为 r ，由于曲柄连杆机构为平行四边形机构运动，键面上任意一点 C' 的运动为以 r 为半径的圆。若从曲柄与 AE 重合位置为曲柄的起始位置，则质量为 m 的脱出物在 C' 点的受力简图如上图所示。



设：脱出物抛离键面的标志是键面对脱出物的支反力 $N=0$ ，
所有的合外力向 N 向投影， t 时刻时有：

$$N + mr\omega^2 \sin \omega t - mg \cos \beta = 0$$



$$N + mr\omega^2 \sin \omega t - mg \cos \beta = 0$$

令 $N = 0$ ，则有： $r\omega^2 \sin \omega t = g \cos \beta$

$$\because \sin \omega t \leq 1, \therefore r\omega^2 \geq g \cos \beta$$

整理得：

$$\frac{r\omega^2}{g} \geq \cos \beta$$

令： $\frac{r\omega^2}{g} = k$ 为脱出物抛离键面的特征值。

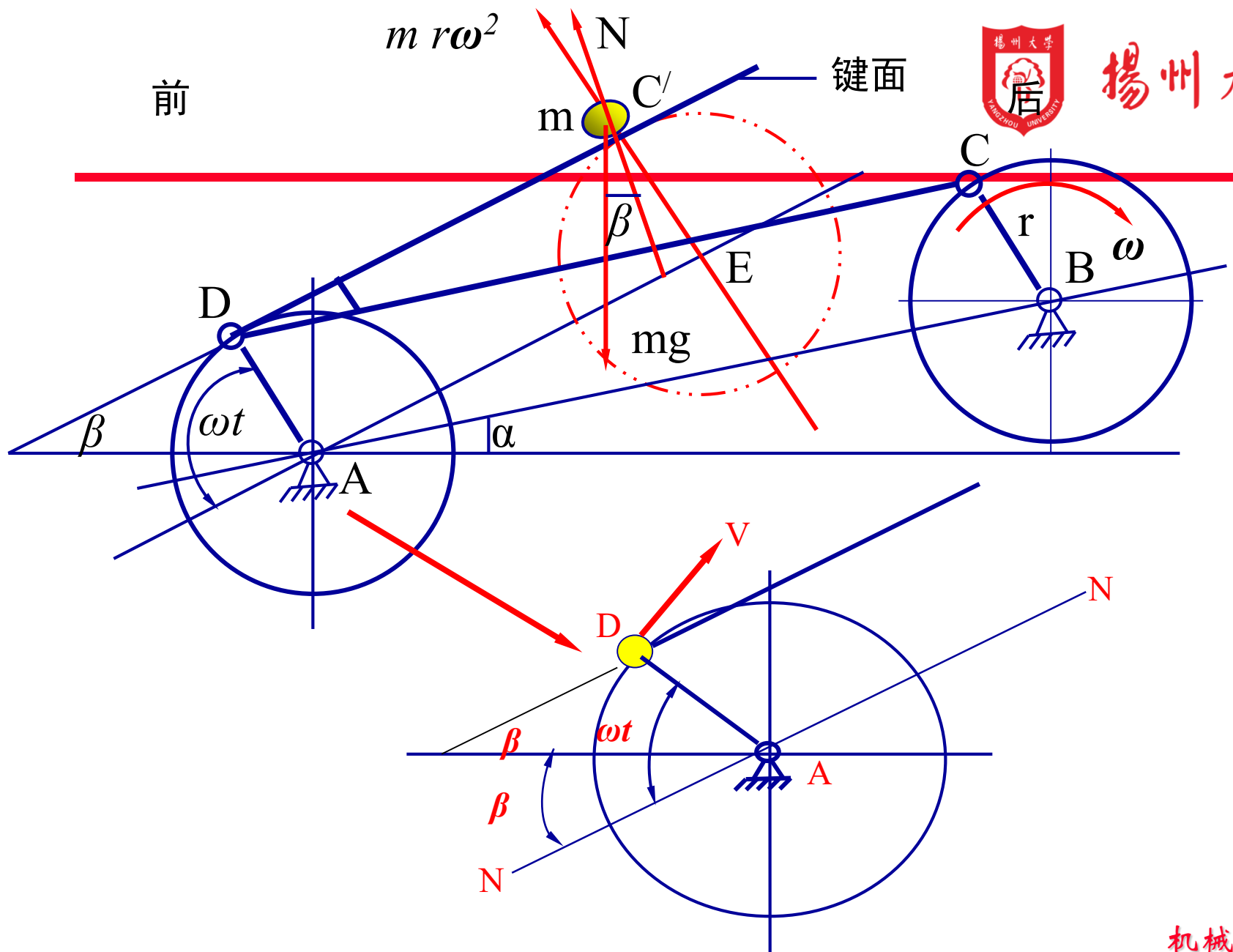
他反映了脱出物做抛物体运动的速度大小，只要 $k \geq \cos \beta$ ，脱出物就能抛起，但抛起的方向不能确定。



$$\frac{r\omega^2}{g} \geq \cos \beta$$

只是定性地确定了脱出物沿筛面抛起的参数量，但没有定量。实际上参数的不同，物体抛起的方向是不同的。

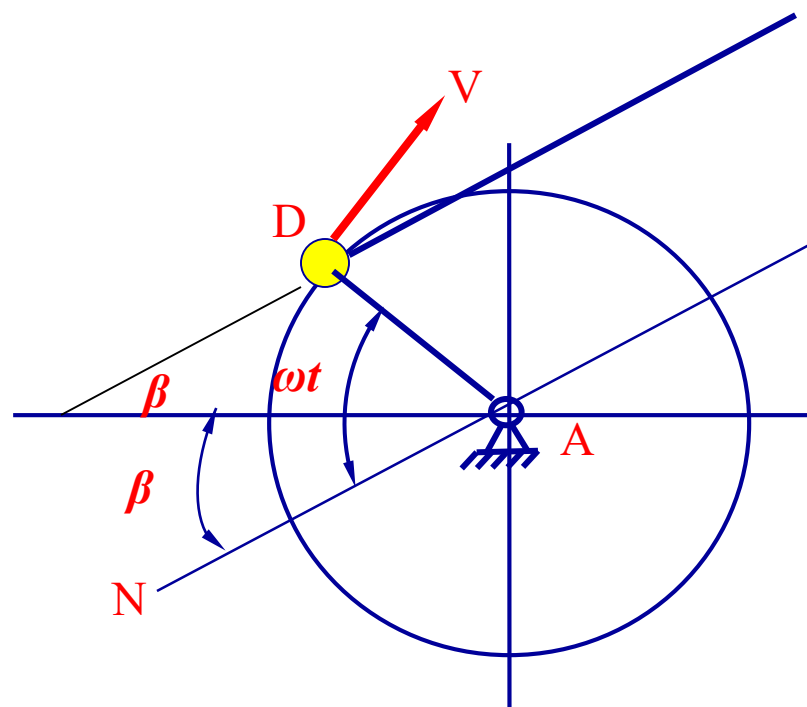
问题：决定脱出物沿筛面抛起的主要参数是什么？如何定量的确定脱出物沿规定方向抛起的结构参数和运动参数？脱出物抛起的规定方向是什么？



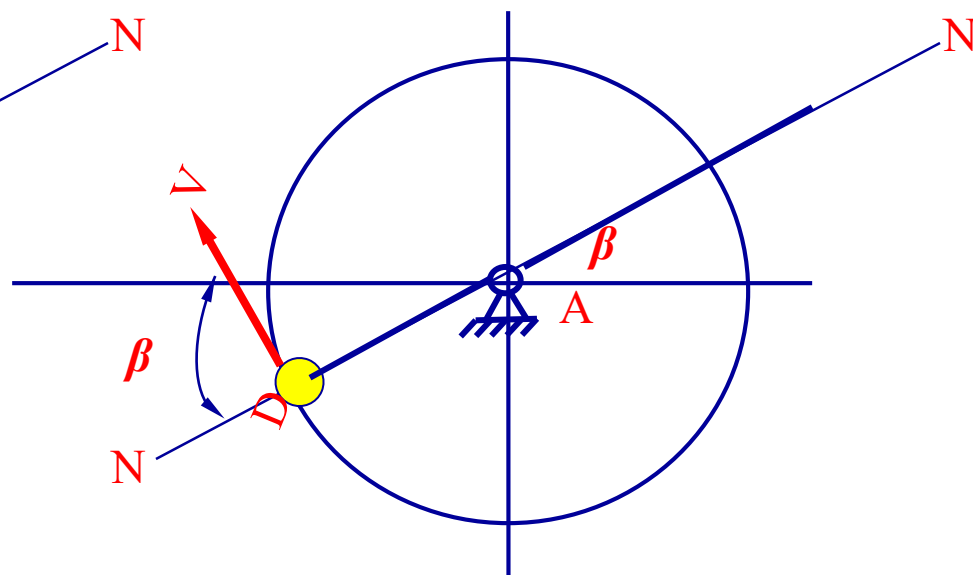
楊州大學



脫出物在鍵面上任一曲柄转角时的抛起方向

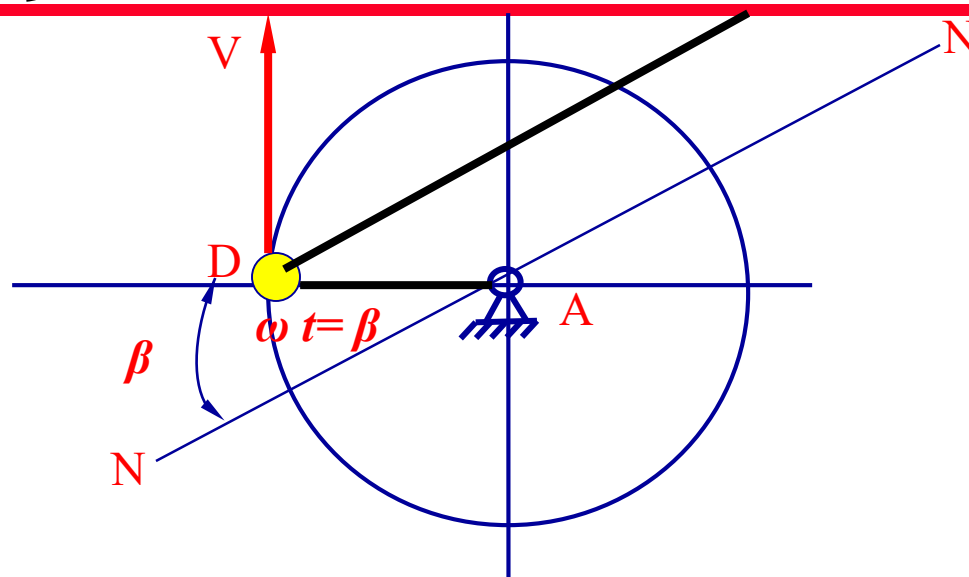


曲柄起始位置: $\omega t = 0$





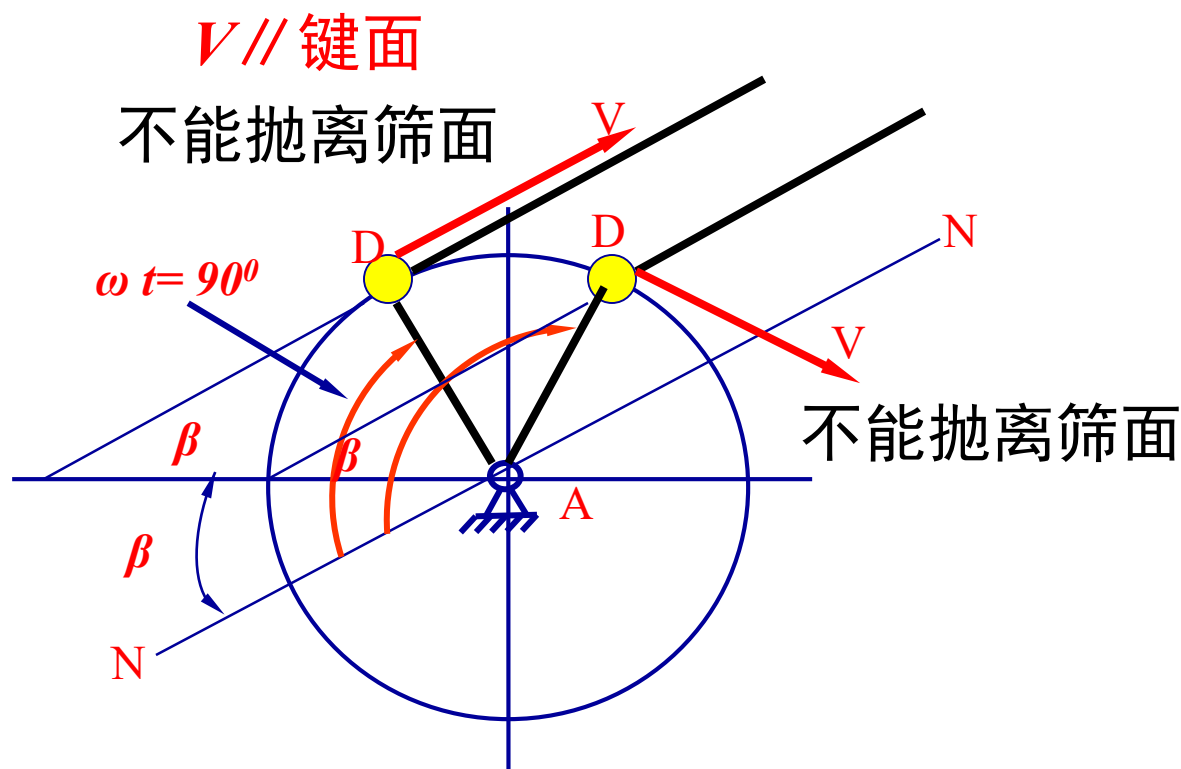
$\omega t = \beta$ 时:



当 $\omega t = \beta$ 时， $V \perp$ 水平面，脱出物不能向后上方抛起，脱出物只能在原地运动，将造成堵塞现象。故 $\omega t = \beta$ 是最早抛起的条件。



$\omega t = \pi/2$ 时:



当 $\omega t = \pi/2$ 时, $V \parallel$ 键面, 不可能抛起。当 $\omega t > \pi/2$ 时, V 压向键面, 更不可能抛起。故 $\omega t = \pi/2$ 是最晚抛起的条件。



通过以上分析可得出：向后上方抛起的极限条件是： $\omega t \geq \beta$ ， β 是已知量。为避免转速过低，物料不能抛起，脱出物最晚抛起的极限转角 $\omega t \leq \pi/2$ 。

由此可得出曲柄四连杆机构的曲柄回转角速度作用范围是：

$$\beta \leq \omega t \leq \frac{1}{2}\pi$$

双轴键式逐稿器的基本工作条件： $\frac{r\omega^2}{g} \geq \cos \beta$

$$\beta \leq \omega t \leq \frac{1}{2}\pi$$



理论分析结果的应用价值

将 ωt 的两个极限转角 β 和 $\pi/2$ 分别代入脱出物抛起的基本条件公式 $r\omega^2 \sin\omega t = g \cos\beta$ ，可求得两个 ω 值或 n 值，这就是保证脱出物向后上方抛起的曲柄旋转速度范围，键式逐稿器工作时如果超出这个范围，就无法正常工作。

一般情况下双轴键式分离装置的结构参数和运动参数为：

$$r = 50 \text{ mm}, \quad n = 170 \sim 220 \text{ r/min}, \quad \beta = 18^\circ, \quad k = 2 \sim 2.2$$



三.分离装置的功率消耗

$$N_f = \frac{1}{\eta} Q_f N_b, \quad (kW)$$

式中： Q_f —单位时间进入分离装置的脱出物质量（kg/s）；

N_b —单位脱出物质量所需的功率（kW / kg / s） 0.38~0.6；

η —分离能力系数， 0.8~0.9。



思考题

1. 分离装置的功用是什么？
2. 分离的原理有哪几种？
3. 目前分离装置存在的问题有哪些？
4. 如何确定双轴键式逐稿器的工作条件？



第四节 清粮装置及理论分析

一. 清粮原理

二. 清粮装置的功率消耗

三. 脱出物在筛面上的运动分析



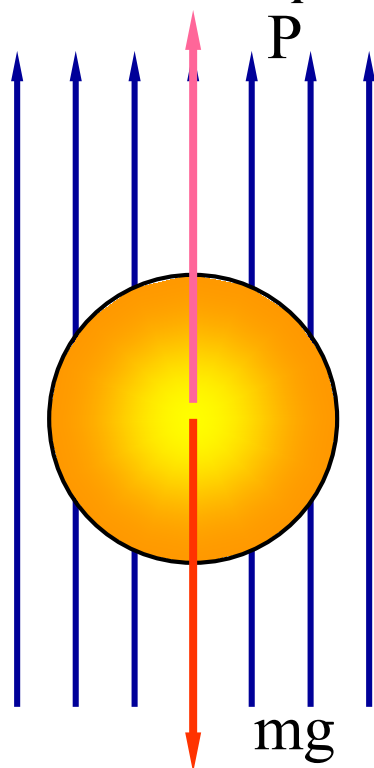
一. 清粮原理

经脱粒装置脱下的和经分离装置分离出的短脱出物中混有断、碎茎秆、颖壳和灰尘等细小夹杂物。清粮装置的功用就是将混合物中的籽粒分离出来，将其他混杂物排出机外，以得到清洁的籽粒。

清粮原理：利用被清选对象各组成部分之间的物理机械性质的差异将他们分离开来。

清粮装置的类型主要有：气流式、筛子式、气流筛子组合式。

1. 气流式清粮装置：按照谷物混合物各组成部分的空气动力特性的不同进行选别。一般用物料的飘浮速度 V_p 来表示。



物料的飘浮速度 V_p ——将物体置于垂直向上的气流场内，当气流对物体的作用力 P 等于该物体的重力 mg 而使该物体处于相对静止的悬浮状态时气流所具有的速度（有时也称为临界速度）。



$$P = k\rho FV^2$$

式中： k —阻力系数，与物体的形状和表面特性有关，

小麦： $0.184\sim0.265$ ；

ρ —空气密度， g/m^3 ；

F —物体的迎风面积， m^2 ；

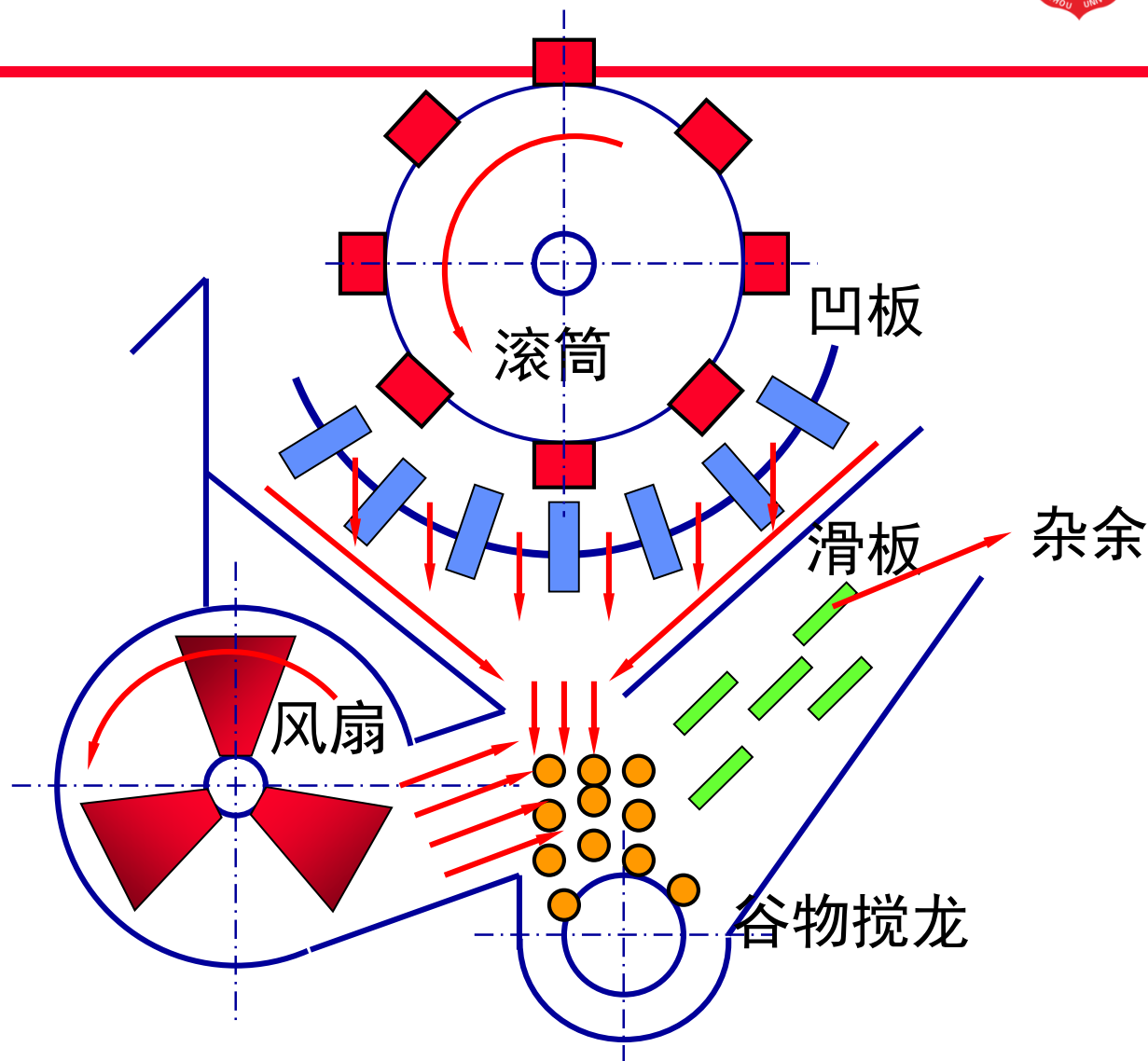
V —气流速度， m/s ，小麦的 $V_p=8.09\sim11.5m/s$ 。

利用这一原理进行清粮的机械有气流型脱粒机，利用风机产生的气流对谷物进行分离和选别。扬场机利用高速抛掷皮带将混合物掷向空中，飘浮速度较大的籽粒掷的较远，而飘浮速度较小的轻杂物将落在距扬场机较近的地方。



揚州大學

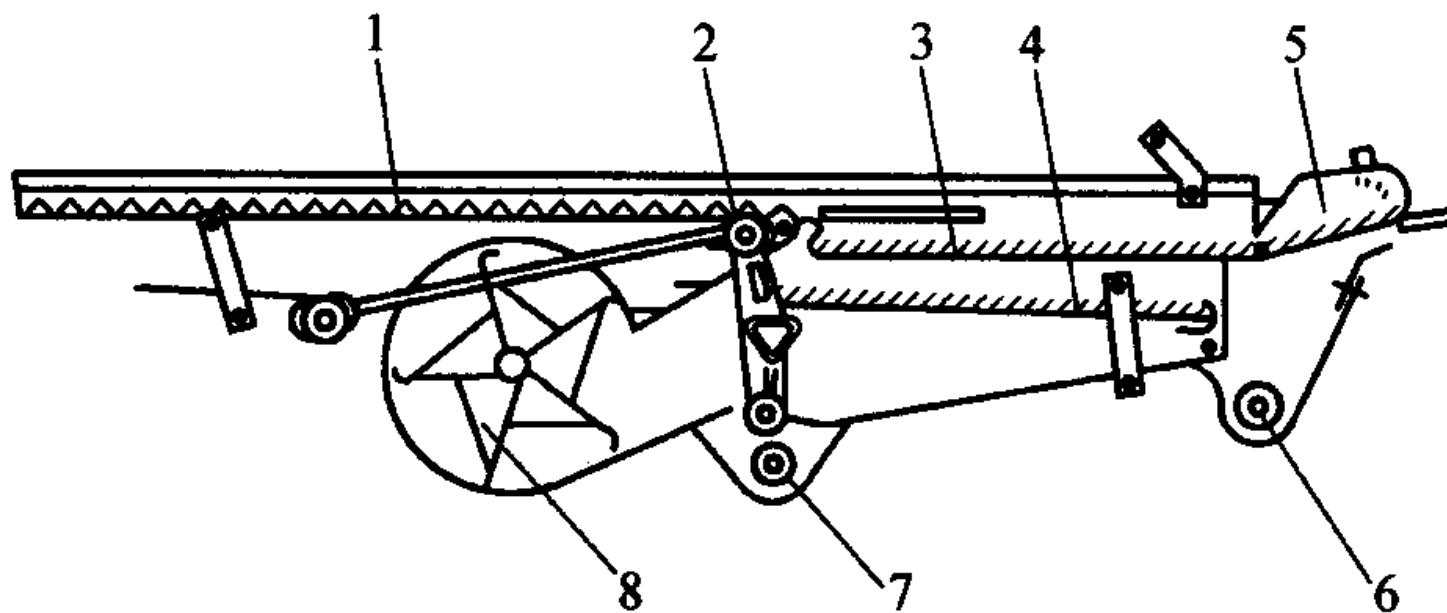
气流型脱粒机工作原理





2. 筛子式清粮装置；利用混合物各组成部分的尺寸特性的差异进行分离和选别。具体方法是：根据谷粒的大小、形状，设计适当的筛孔，以达到筛选的目的。

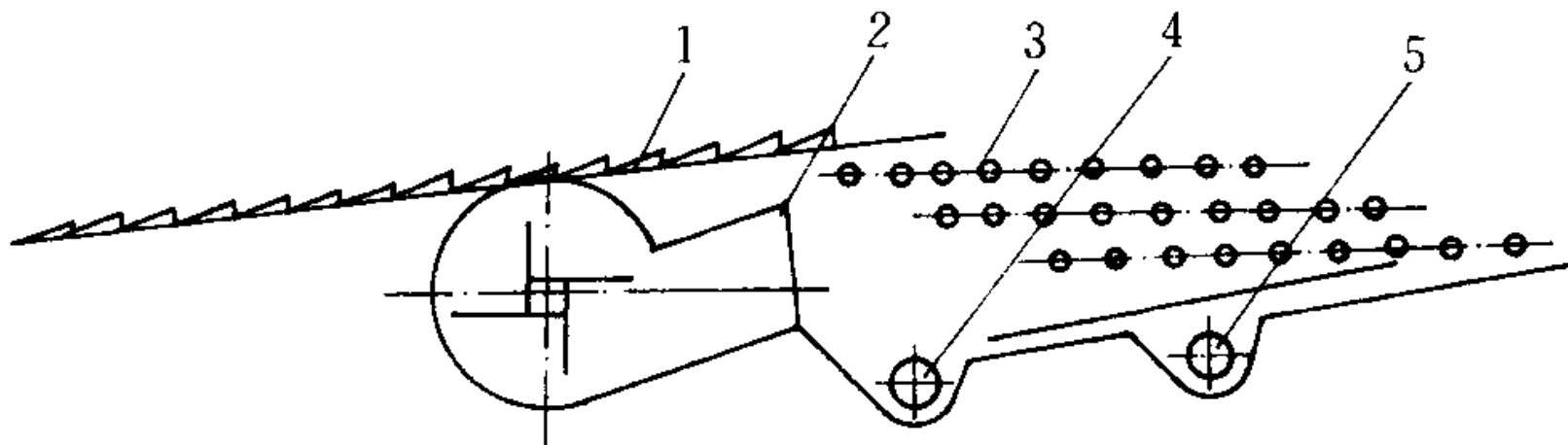
3. 气流筛子组合式清粮装置：利用混合物各组成部分的尺寸特性和空气动力特性将筛子和风机配合进行分离选别。清粮效果好，在多数脱粒机和联合收获机上采用这种配合形式。



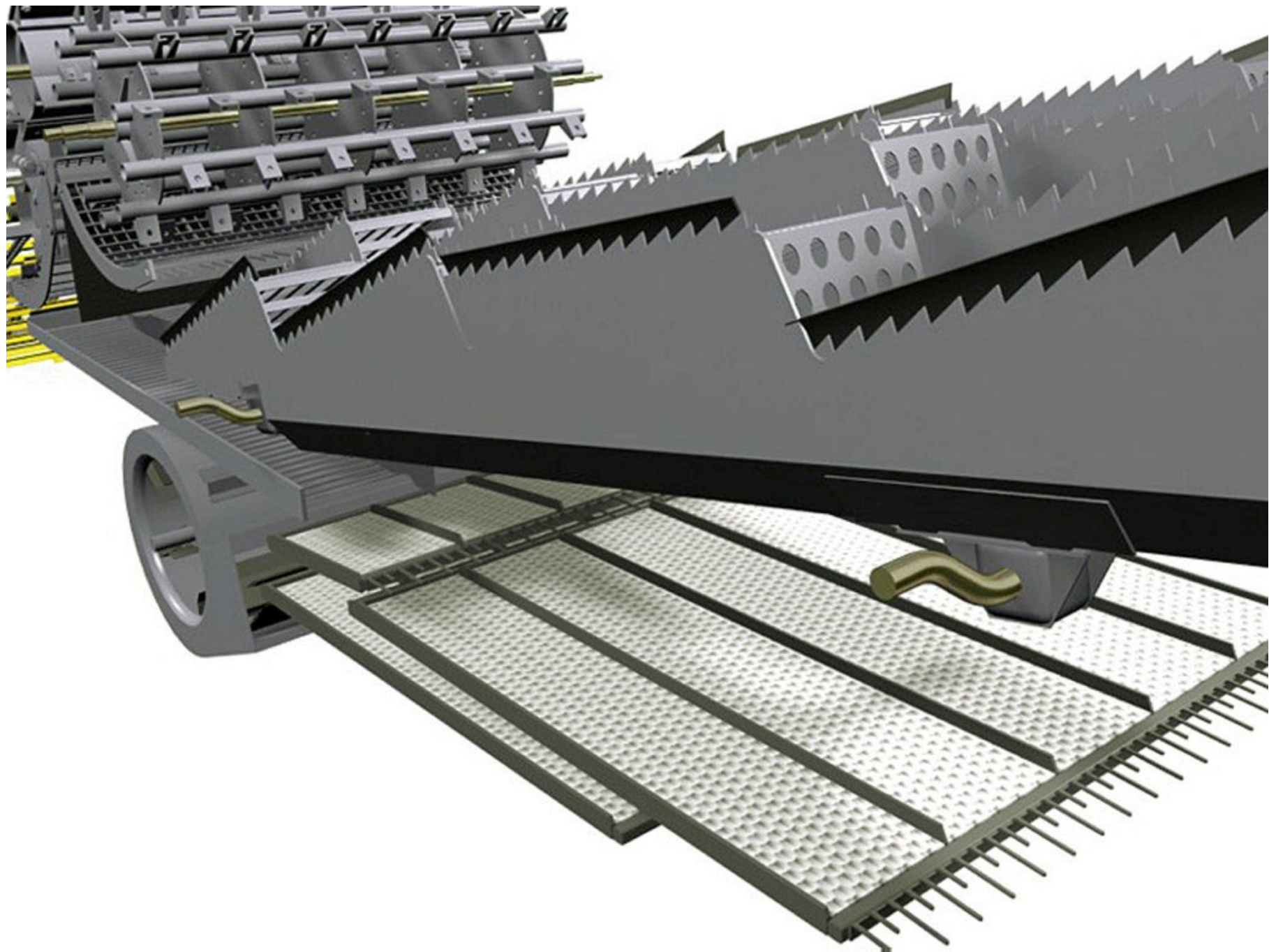
筛子与风机配合的清粮装置

1. 阶梯板 2. 传动机构 3. 上筛 4. 下筛 5. 尾筛
6. 杂余推运器 7. 籽粒推运器 8. 风机

清粮装置的机构简图



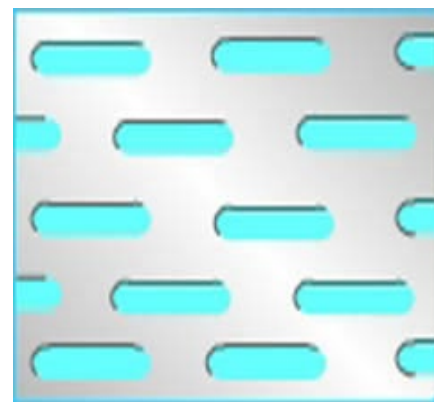
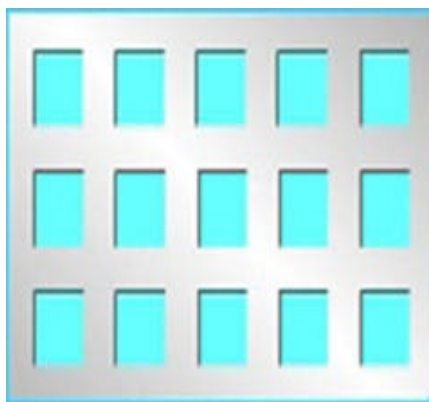
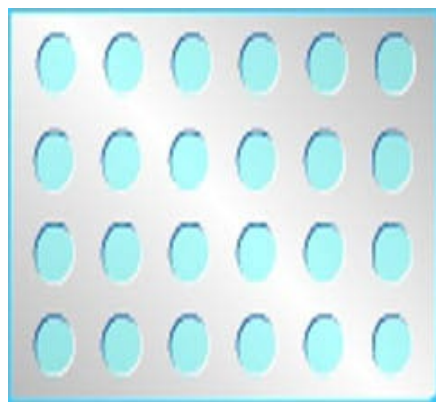
1. 阶梯抖动板 2. 风扇 3. 筛子
4. 谷物螺旋推运器 5. 杂余螺旋推运器



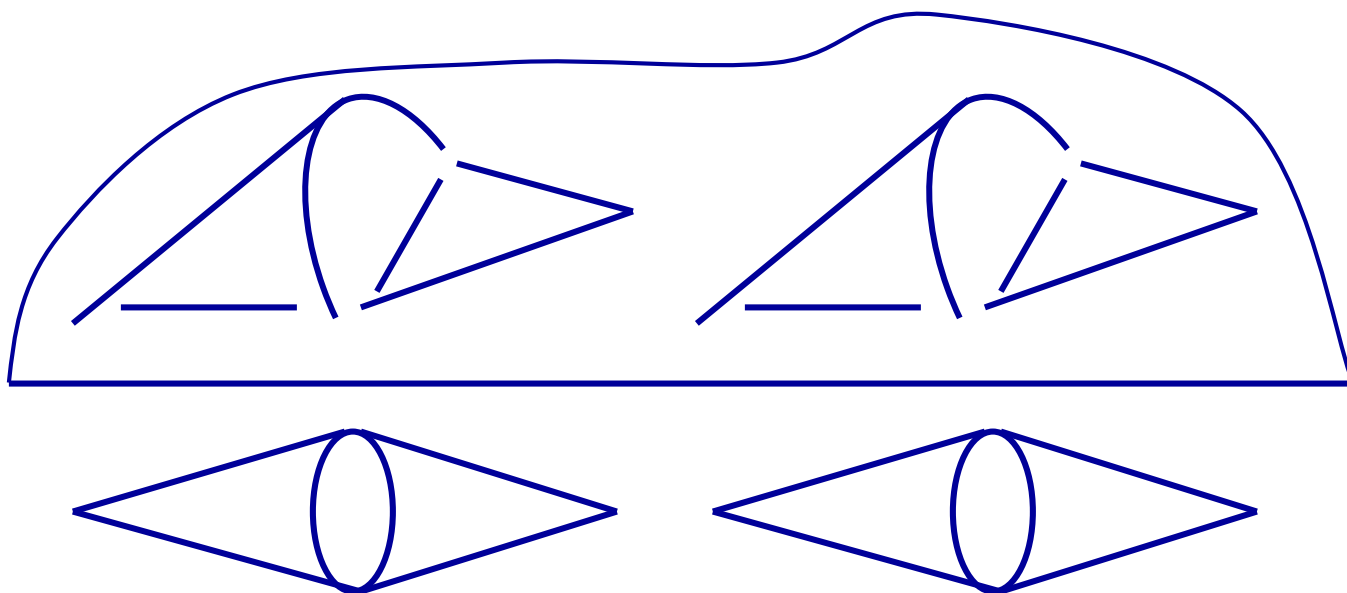


4. 筛子的类型：

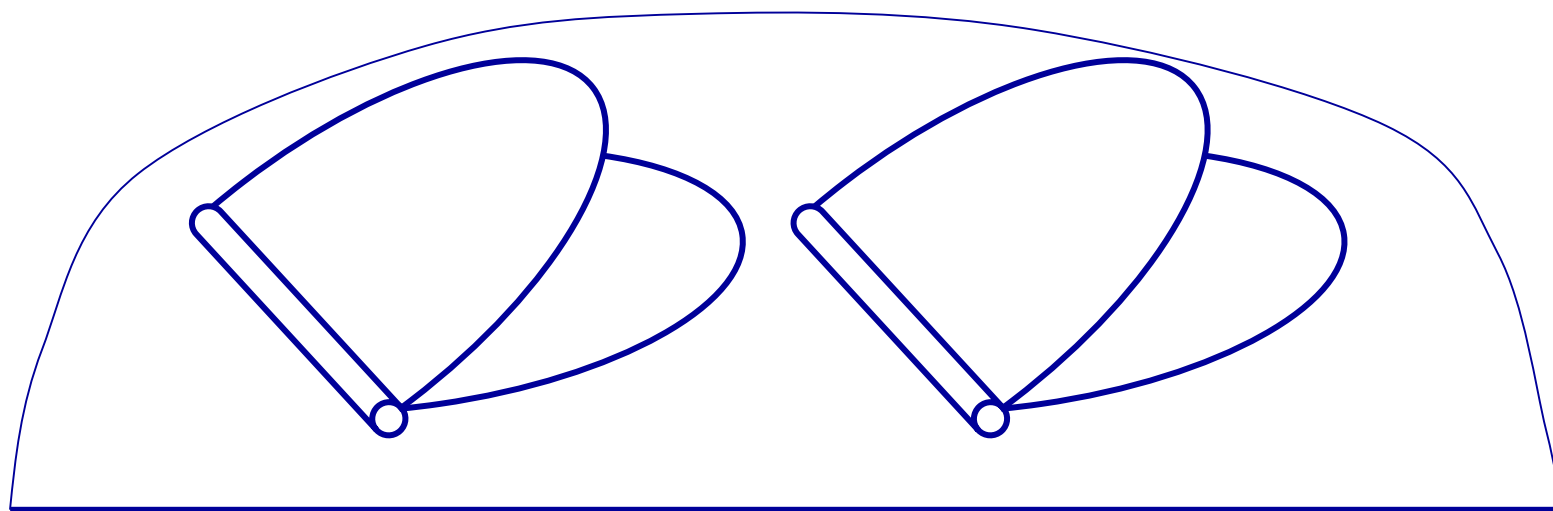
- (1)编织筛：用金属丝编织而成，制造简单、气流阻力小、有效面积大、生产率高，在多层筛子配置中宜作上筛。但平面强度小，易变形。
- (2)冲孔筛：在薄金属板材上冲制具有特定形状的筛孔。制造简单、不易变形、但有效面积小、生产率低，一般用作下筛。



(3)鱼眼筛：在薄金属板材上冲制出凸起的鱼眼状筛孔。混合物在筛面上只能单向选别，向后推送的能力比较好，结构简单，生产率低，宜作下筛。



(4)鱼鳞筛：是由冲压而成的鱼鳞筛片和鱼鳞筛孔组合而成。孔口大小可调、不易堵塞、生产率高、适应性强。但结构复杂，在联合收获机上应用较多。



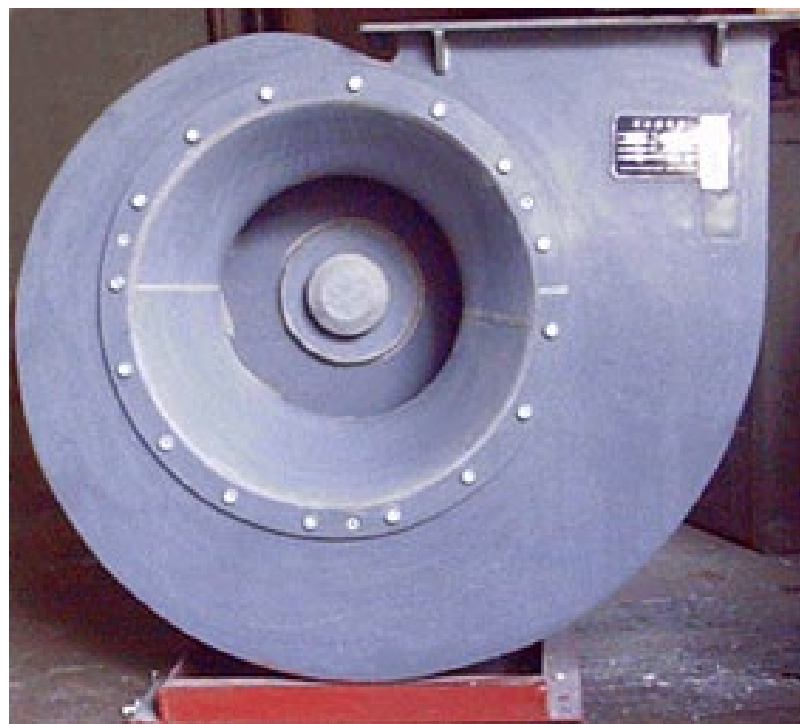


5. 风机的类型:

离心风机：结构简单，便于配置，控制面域大，但气流分布不均匀。一般通过配置多个风机来均匀气流。

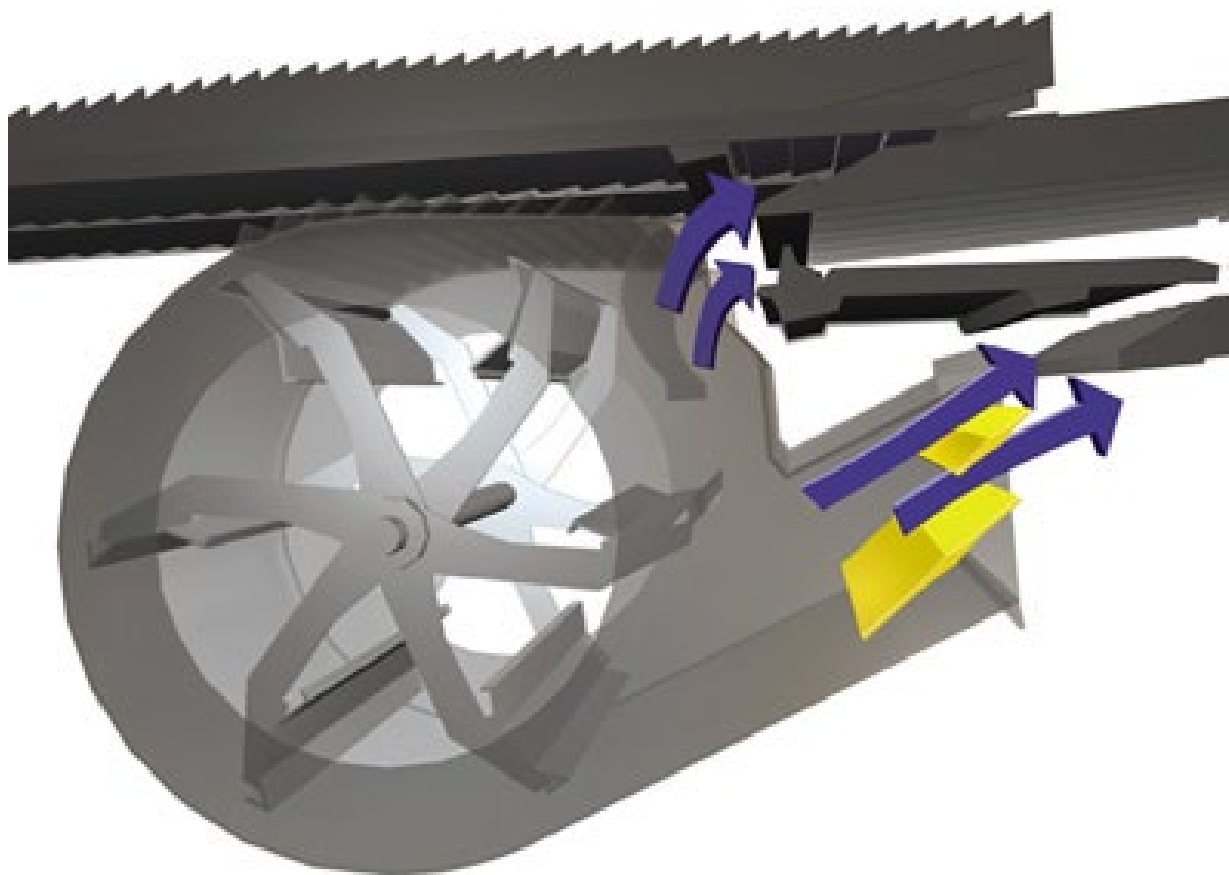


9-19





揚州大學

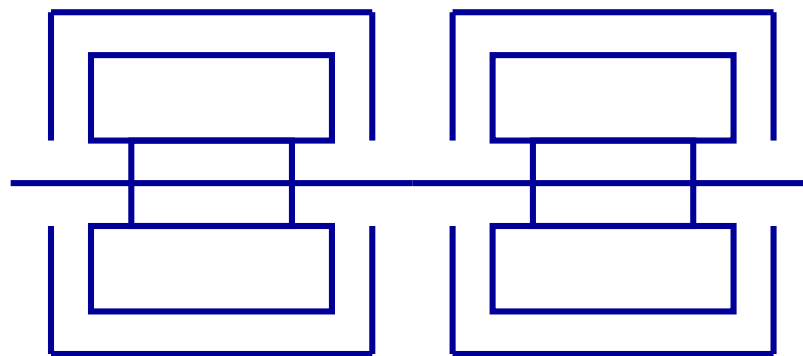
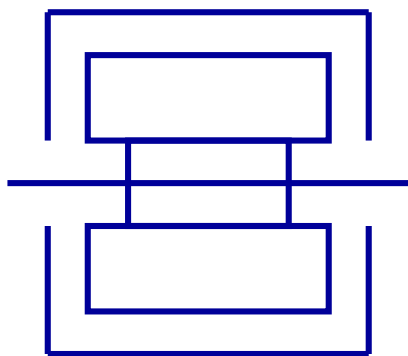
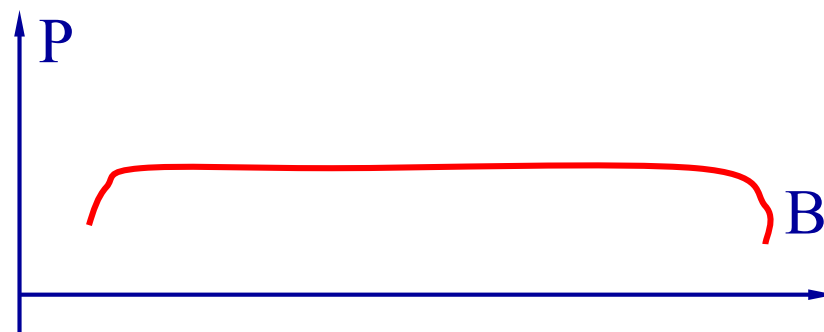
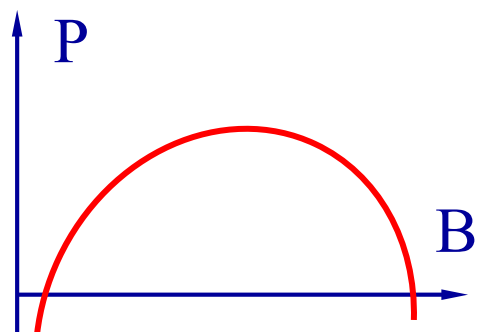


农用离心风扇与清选筛的配合关系

机械学院



揚州大學

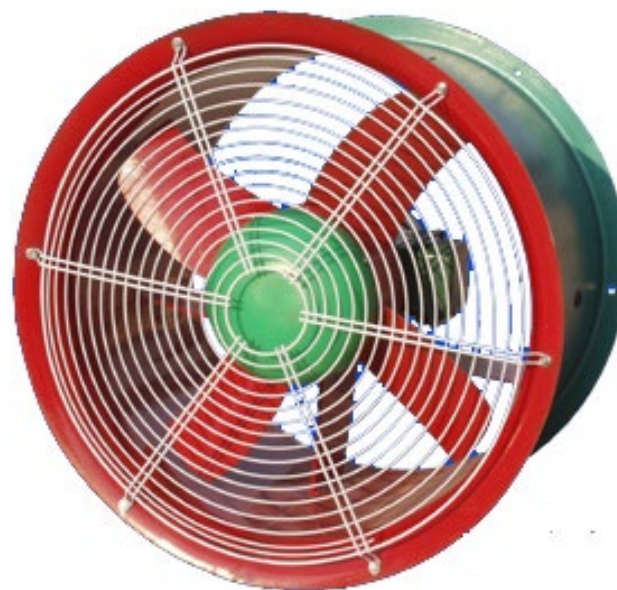




轴流风机：气流分布均匀、结构尺寸小，但控制面域小。

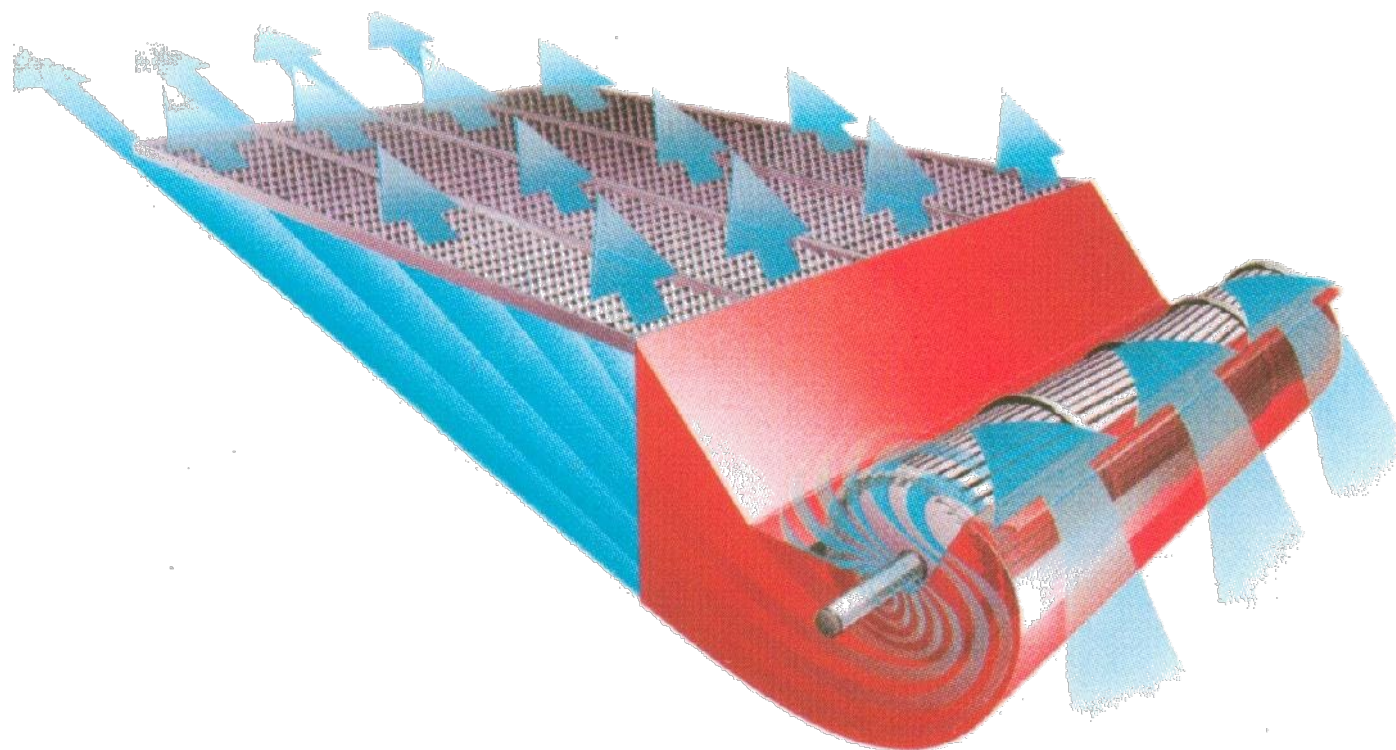


T30



T35

横流风机：又称径流风机，气流为轴向吸入径向排出，气流在横向上分布均匀，功率消耗小，结构复杂，制造成本高。





二. 清粮装置的功率消耗

$$N_s = \frac{1}{\eta} Q_s N_p, \quad (kW)$$

式中： Q_s —单位时间进入清粮装置的脱出物质量 (kg/s) ；

N_p —单位脱出物质量清选筛所需的功率 ($kW / kg / s$)

上筛： $0.4 \sim 0.5$ ，下筛： $0.25 \sim 0.3$ ；

η —选别能力系数， $0.8 \sim 0.9$ 。

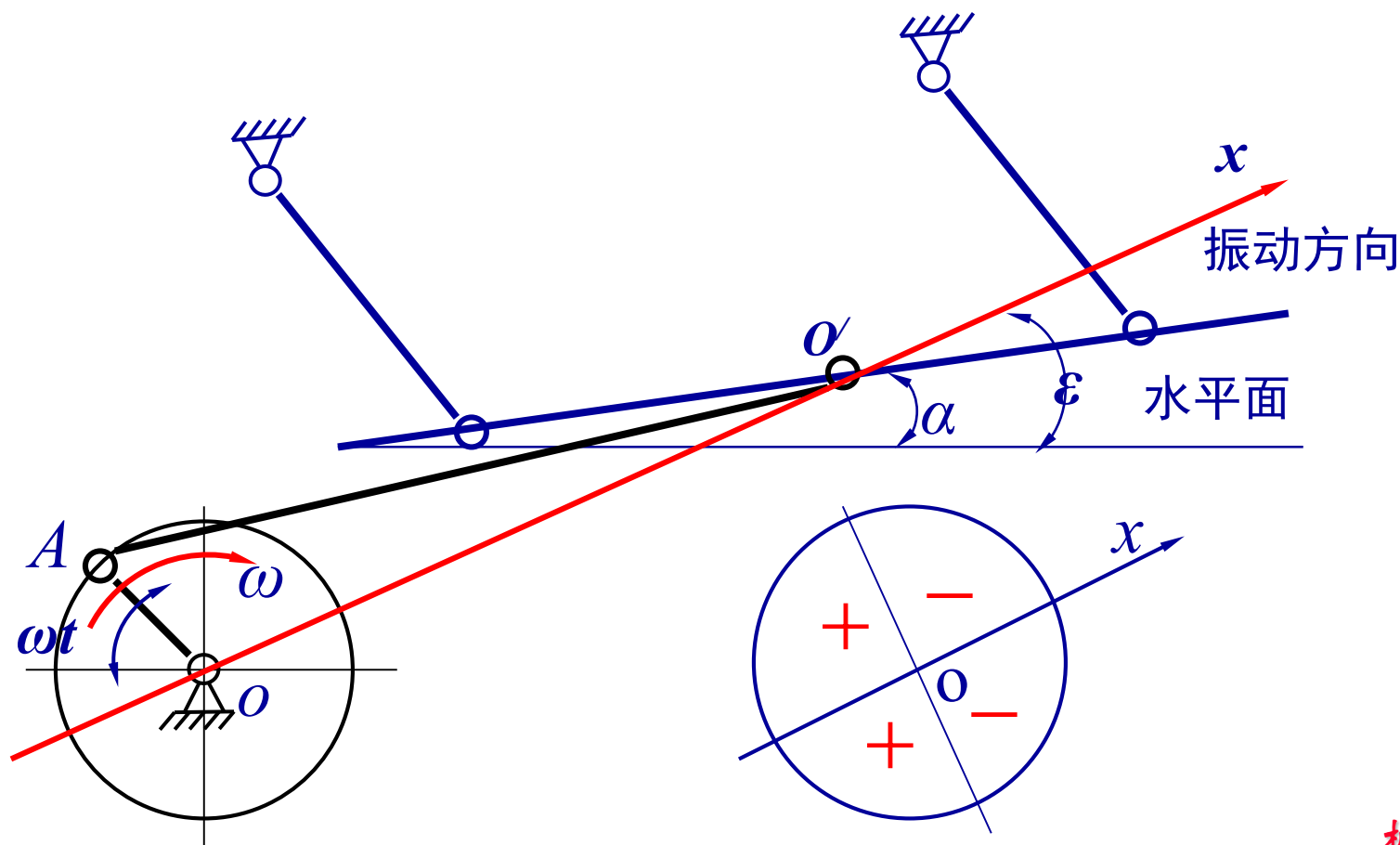


三. 脱出物在筛面上的运动分析

- 短脱出物进入由清选筛和风机组成的清粮装置后，利用风机的配合在筛面上做前后的往复运动，借以获得更多的机会通过筛孔。一般来说筛子是由筛面、吊杆组成的四边形机构和曲柄连杆机构构成，为了找出影响脱出物沿筛面运动性质的主要因素，我们假设筛子近似为一平行四边形机构。

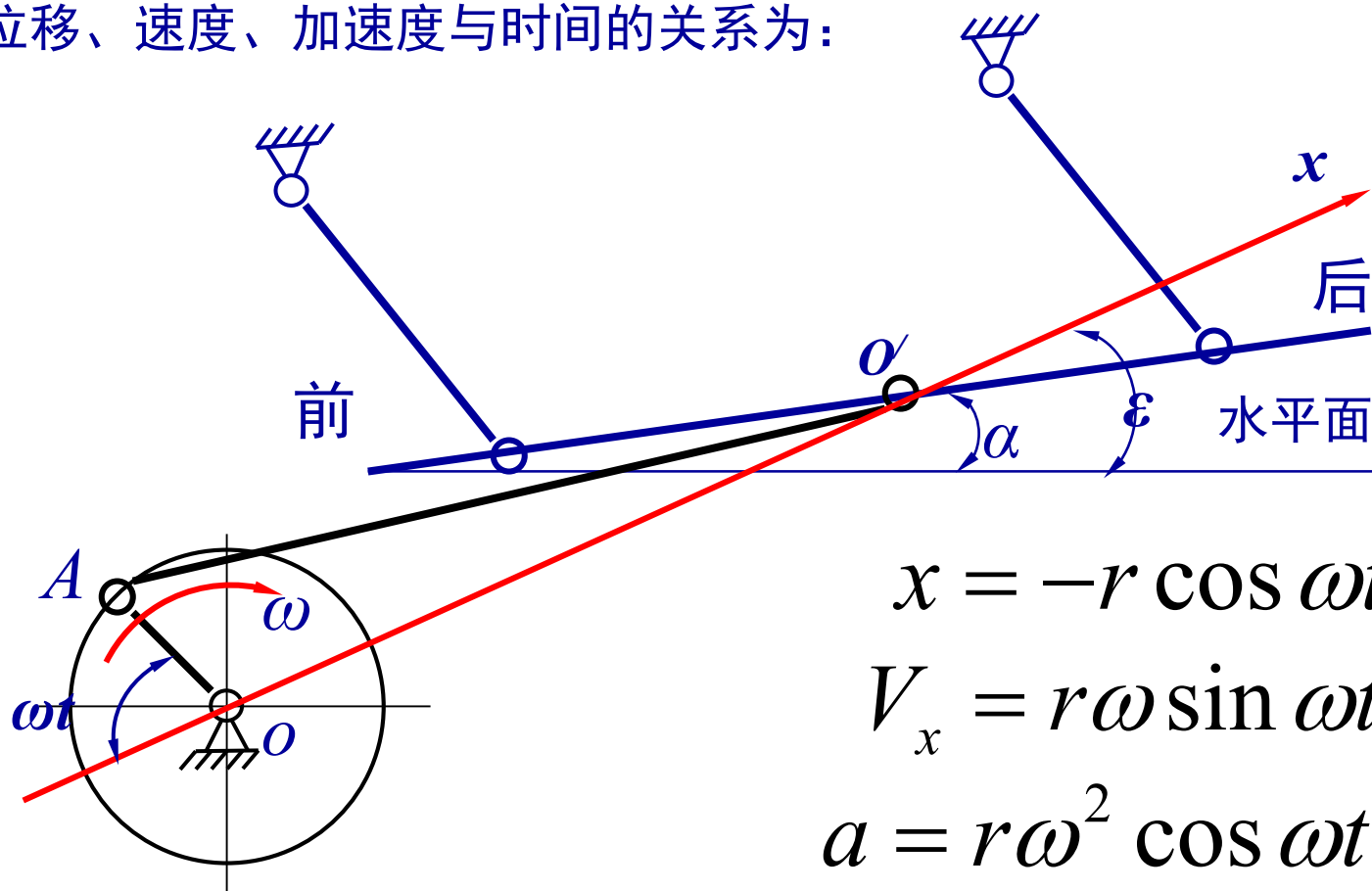


- 由于吊杆和连杆长度远大于曲柄半径，可近似认为筛子的运动是振幅为 $A=2r$ （ r 为曲柄半径）的直线往复运动。

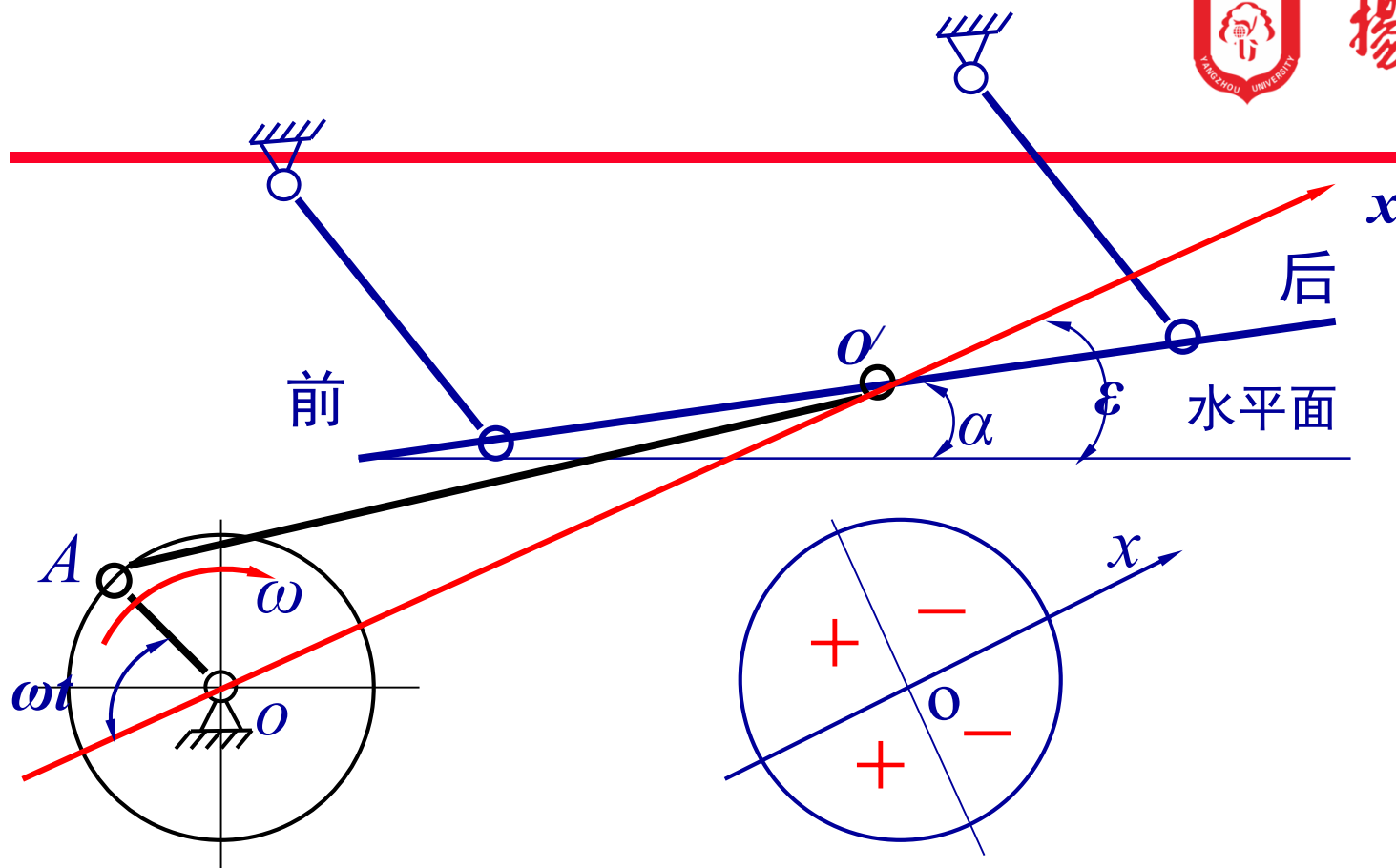




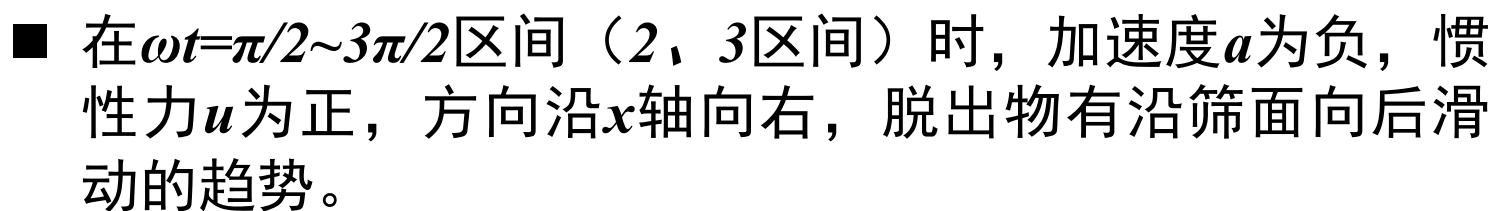
- 设：曲柄的回转中心 O 与筛架连杆连接点 O' 的连线的延长线 OO' 方向为筛子的振动方向，曲柄在左侧与 OO' 重合位置为曲柄运动的起始位置，筛子的位移、速度、加速度与时间的关系为：



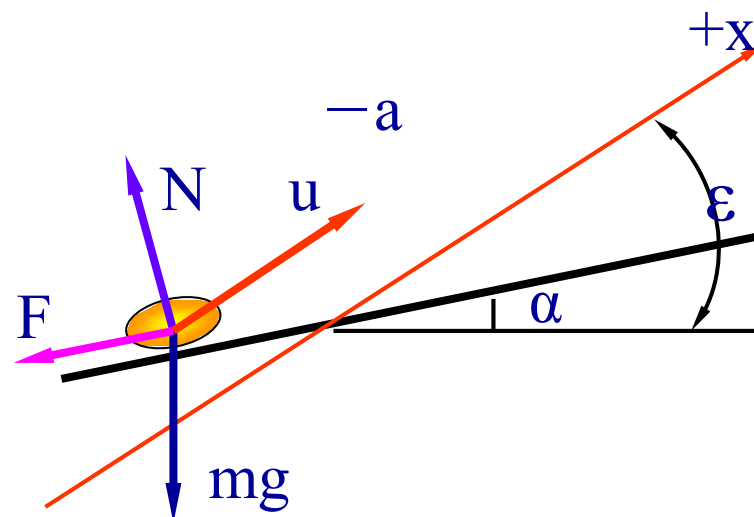
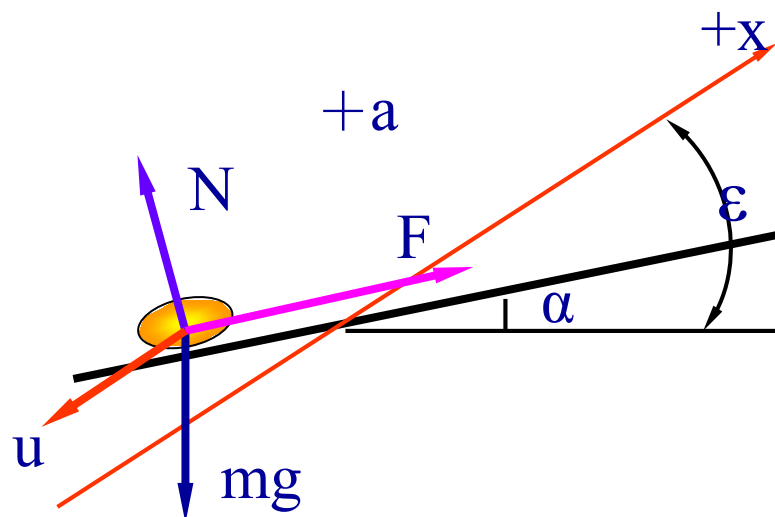
$$\begin{aligned}x &= -r \cos \omega t \\V_x &= r \omega \sin \omega t \\a &= r \omega^2 \cos \omega t\end{aligned}$$



- 假设筛面上有一质量为 M 的脱出物质点和筛子一起运动，在 $\omega t=0\sim\pi/2$ 和 $3\pi/2\sim 2\pi$ 区间（1、4区间）时，加速度 a 为正，惯性力 u 为负，方向沿 x 轴向左，脱出物有沿筛面向前滑动的趋势。



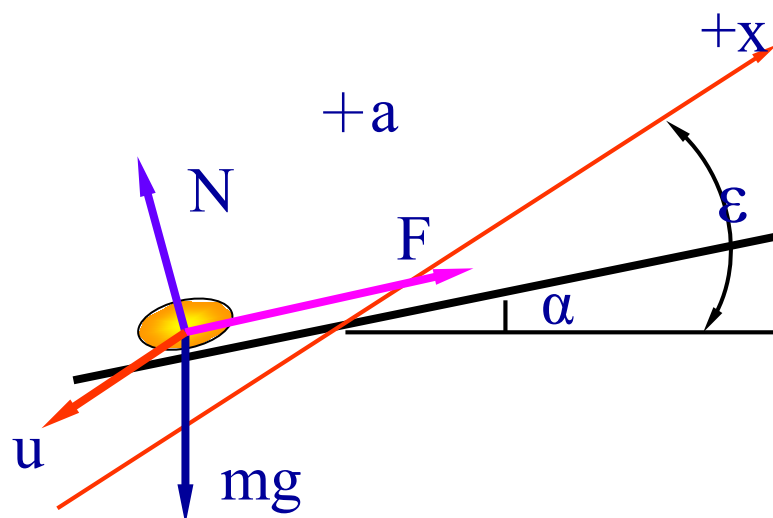
- 假设筛面上有一质量为 m 的脱出物质点和筛子一起运动，当脱出物沿筛面滑动时，作用在脱出物上的力，除了惯性力 u 外，还有重力 mg 、筛面的法向反力 N 和摩擦力 F 。





1. 脱出物沿筛面向前滑动的极限条件

- 当加速度为正值时，脱出物在惯性力的作用下有前滑的趋势，由图所示，全部外力向筛面投影得：



$$u = mr\omega^2 \cos \omega t$$

$$F = N \tan \varphi$$

φ —脱出物与筛面的摩擦角，

小麦：25~36°；

水稻：23~32°。

$$u \cos(\varepsilon - \alpha) + mg \sin \alpha = F$$

$$N = u \sin(\varepsilon - \alpha) + mg \cos \alpha$$



将 u 和 F 代入并整理得：

$$u \cos(\varepsilon - \alpha) + mg \sin \alpha = [u \sin(\varepsilon - \alpha) + mg \cos \alpha] \operatorname{tg} \varphi$$

移项整理得：

$$u [\cos(\varepsilon - \alpha) - \sin(\varepsilon - \alpha) \operatorname{tg} \varphi] = mg (\cos \alpha \operatorname{tg} \varphi - \sin \alpha)$$

等式两边同乘以 $\cos \varphi$ 得：

$$u [\cos(\varepsilon - \alpha) \cos \varphi - \sin(\varepsilon - \alpha) \sin \varphi] = mg (\cos \alpha \sin \varphi - \sin \alpha \cos \varphi)$$

利用：

$$\sin(\alpha \pm \varphi) = \sin \alpha \cos \varphi \pm \cos \alpha \sin \varphi$$

$$\cos(\alpha \pm \varphi) = \cos \alpha \cos \varphi \mp \sin \alpha \sin \varphi$$



整理得： $mr\omega^2 \cos \omega t \cos(\varepsilon - \alpha + \varphi) = mg \sin(\varphi - \alpha)$

$$\frac{r\omega^2}{g} \cos \omega t = \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)}$$

令 $K = \frac{r\omega^2}{g}$ 为筛子运动的加速度比，因为 $\cos \omega t \leq 1$ ，欲使脱出物沿筛面前滑，必须使筛子运动的加速度比满足如下条件：

$$\frac{r\omega^2}{g} > \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)}$$



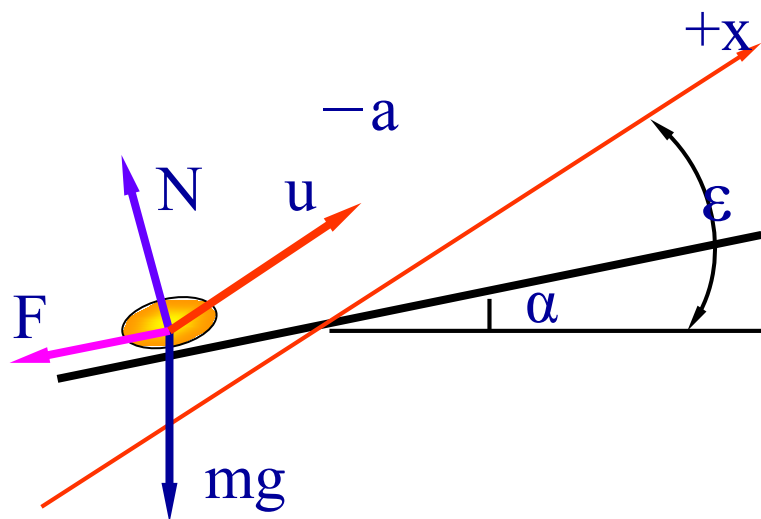
$$\text{令: } \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} = K_1$$

K_1 为脱出物沿筛面前滑的特征条件，当 $K > K_1$ 时，脱出物将沿筛面前滑。



2. 脱出物沿筛面向后滑动的极限条件

当加速度为负值时，脱出物在惯性力的作用下有后滑的趋势，由图所示，全部外力向筛面投影得：



$$u \cos(\varepsilon - \alpha) = F + mg \sin \alpha$$

$$N = mg \cos \alpha - u \sin(\varepsilon - \alpha)$$



同理整理得：

$$\frac{r\omega^2}{g} > \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)}$$

令：

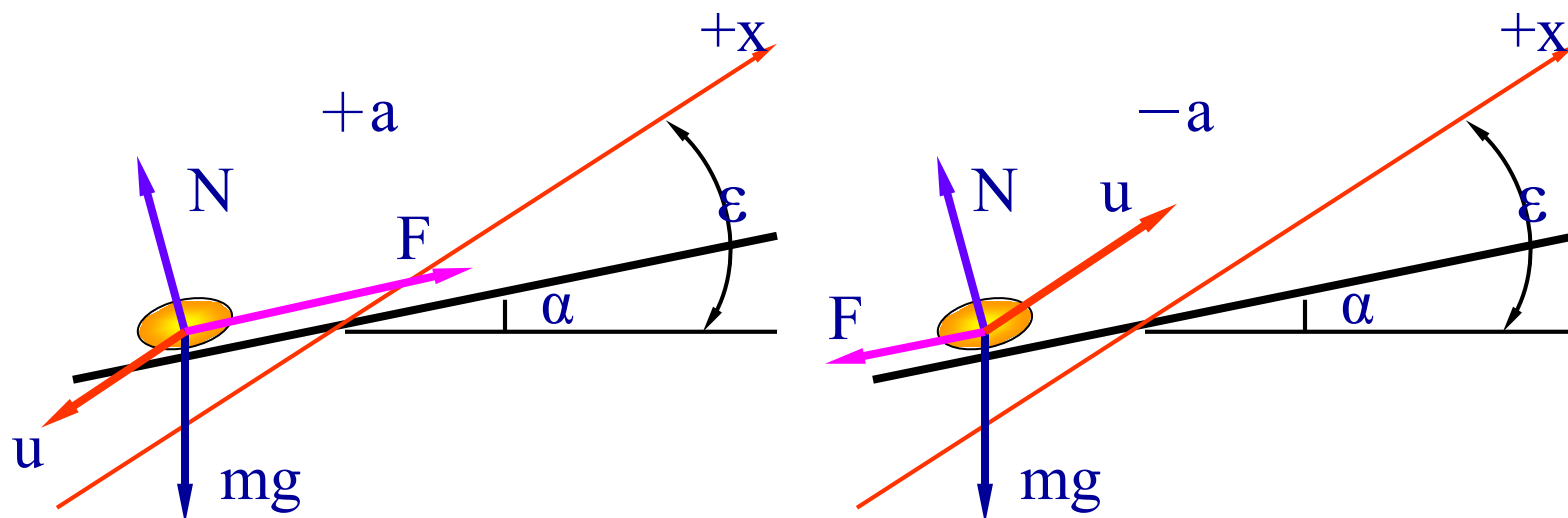
$$\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)} = K_2$$

K_2 为脱出物沿筛面后滑的特征条件，
当 $K > K_2$ 时，脱出物将沿筛面后滑。

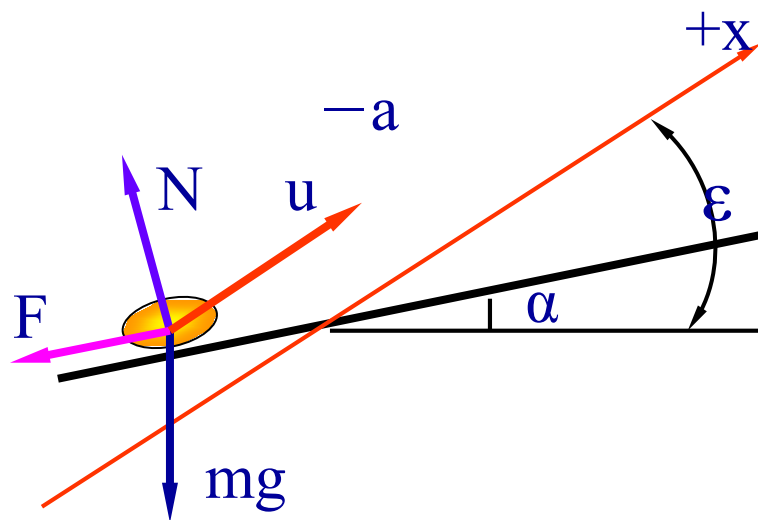


3. 脱出物抛离筛面的极限条件

当脱出物在筛面上运动满足上抛的特征条件时，脱出物将抛离筛面。什么条件下脱出物有可能抛离筛面？



前面已经介绍过，脱出物是靠惯性力运动的，当惯性力 u 沿 X 轴正向时，随着 $r\omega^2$ 的增大，法向反力 N 减小，脱出物有抛离筛面的趋势。脱出物抛离筛面的标志是 $N=0$ 。



$$N = mg \cos \alpha - u \sin (\varepsilon - \alpha)$$

令: $N = 0$

$$mg \cos \alpha - mr\omega^2 \cos \omega t \sin (\varepsilon - \alpha) = 0$$



同理整理得：

$$\frac{r\omega^2}{g} > \frac{\cos \alpha}{\sin(\varepsilon - \alpha)}$$

令：

$$\frac{\cos \alpha}{\sin(\varepsilon - \alpha)} = K_3$$

- K_3 为脱出物抛离筛面的特征条件，当 $K > K_3$ 时，脱出物将抛离筛面。



讨论：通过以上分析，当清选筛结构参数和安装参数确定后，在不考虑其他影响因素的条件下，脱出物在筛面上的运动结果主要取决于筛子运动的加速度比：

$$K = \frac{r\omega^2}{g}$$

结论：只要K值达到了 K_1 、 K_2 、 K_3 值就能前滑、后滑和抛离筛面。

- 我们希望的筛子运动结果是：脱出物沿筛面既有前滑又有后滑，且后滑量大于前滑量，但不允许有抛离筛面的现象发生。



清粮筛正常工作的条件：

$$K_3 > K > K_1 > K_2$$

目前，清粮装置的主要参数为：

$$K=2.2\sim 3;$$

$$r=23\sim 30\text{mm};$$

$$\varepsilon=12\sim 25^\circ;$$

$$\alpha=1\sim 3^\circ, \quad (\text{个别 } 7\sim 8^\circ);$$

$$n=200\sim 350 \text{ r/min}。$$



思考题

1. 清粮装置的功用及清粮原理是什么？
2. 常见的三种清粮装置各有何特点？
3. 飘浮速度的概念？
4. 试导出脱出物沿筛面后滑及抛起的极限条件？