



# 张力控制讲座

南通宏大机电制造有限公司

[www.hoda.cn](http://www.hoda.cn) 4006006088

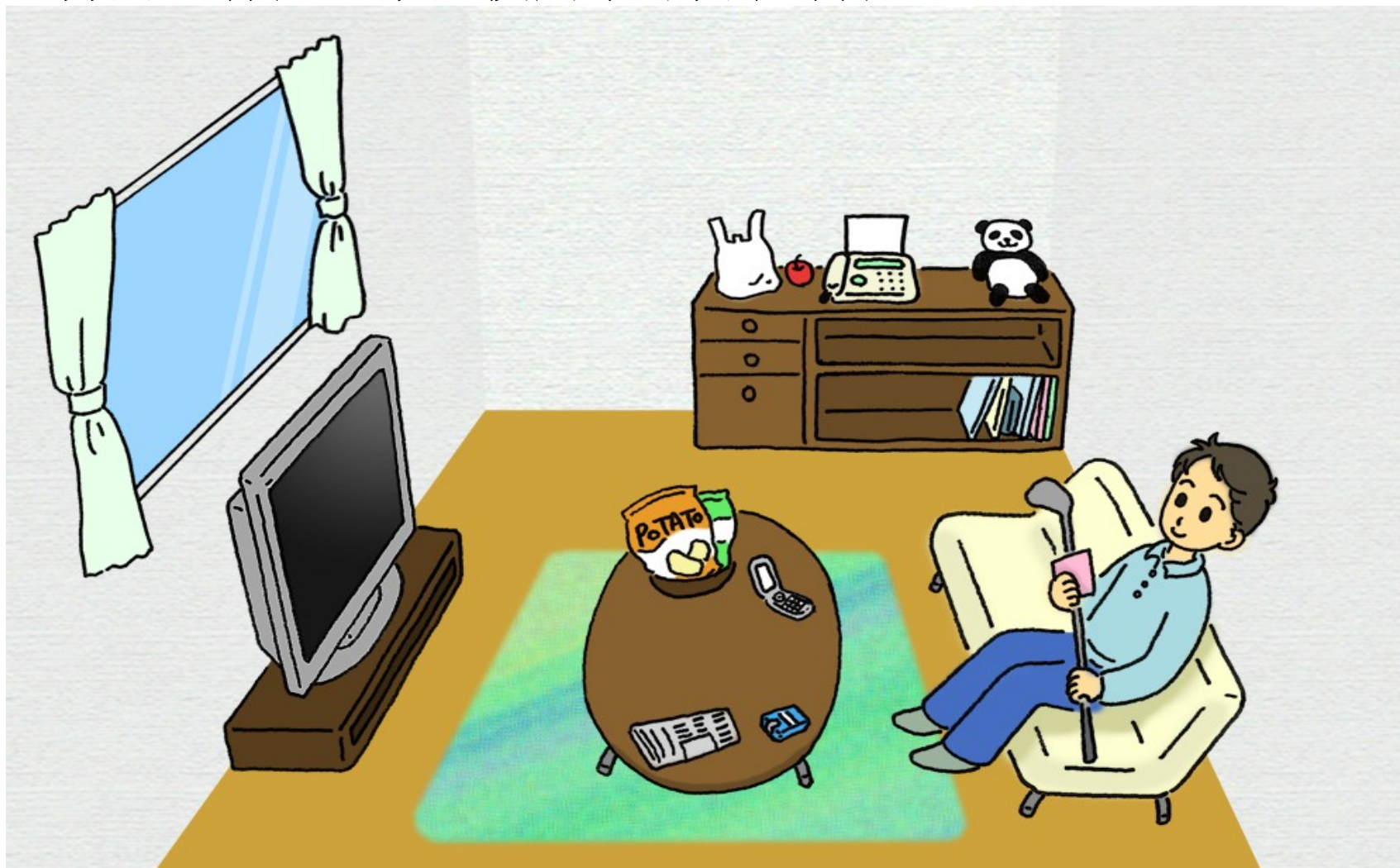


- 1. 希望了解那些需要张力控制的新型机械设备。
- 积层陶瓷电容器制造装置
- 液晶薄膜制造装置
- 2. 希望了解张力控制产品之间的性能差异以及与其它公司的比较。
- 尤其希望了解三菱电机产品的优点。
- 3. 希望了解下述的性能差异及其理由
- 1) 恒定张力控制
- 2) 锥度控制
- 3) 扭矩控制
- 4. 对于裁切机及腹膜机而言，在放卷轴和收卷轴之间，一定需要中间轴或者夹辊吗？
- 由于设备结构或生产工艺（材料等）原因，有时不能使用中间轴或者夹辊，这时如何才能进行理想的张力控制？
- 5. 卷径变化及线速度较大时，通过矢量变频器和电机的组合进行张力控制，是否比磁粉离合器和张力控制器的张力控制更理想？
- 6. 对绕线机及捻线机进行张力控制时，使用三菱的哪种张力控制器产品比较好。
- 现在只使用磁粉产品对绕线机和捻线机进行张力控制，三菱张力控制器一台也没使用，该如何使用呢？
- 7. 对于裁切机而言，①和②哪个较好呢？其理由是什么？
- ①放卷 / 收卷 ··· 恒定张力控制 ②收卷 锥度控制 放卷 恒定张力控制
- 8. 收卷进行锥度控制，与降低收卷扭矩有什么不同？
- 其理由是什么？
- 9. 选定张力检测器时，安装在检测器上的辊子的重量，占检测器检测范围的60%，当实际检测范围为40%时，是否要选择更高等级的检测器？



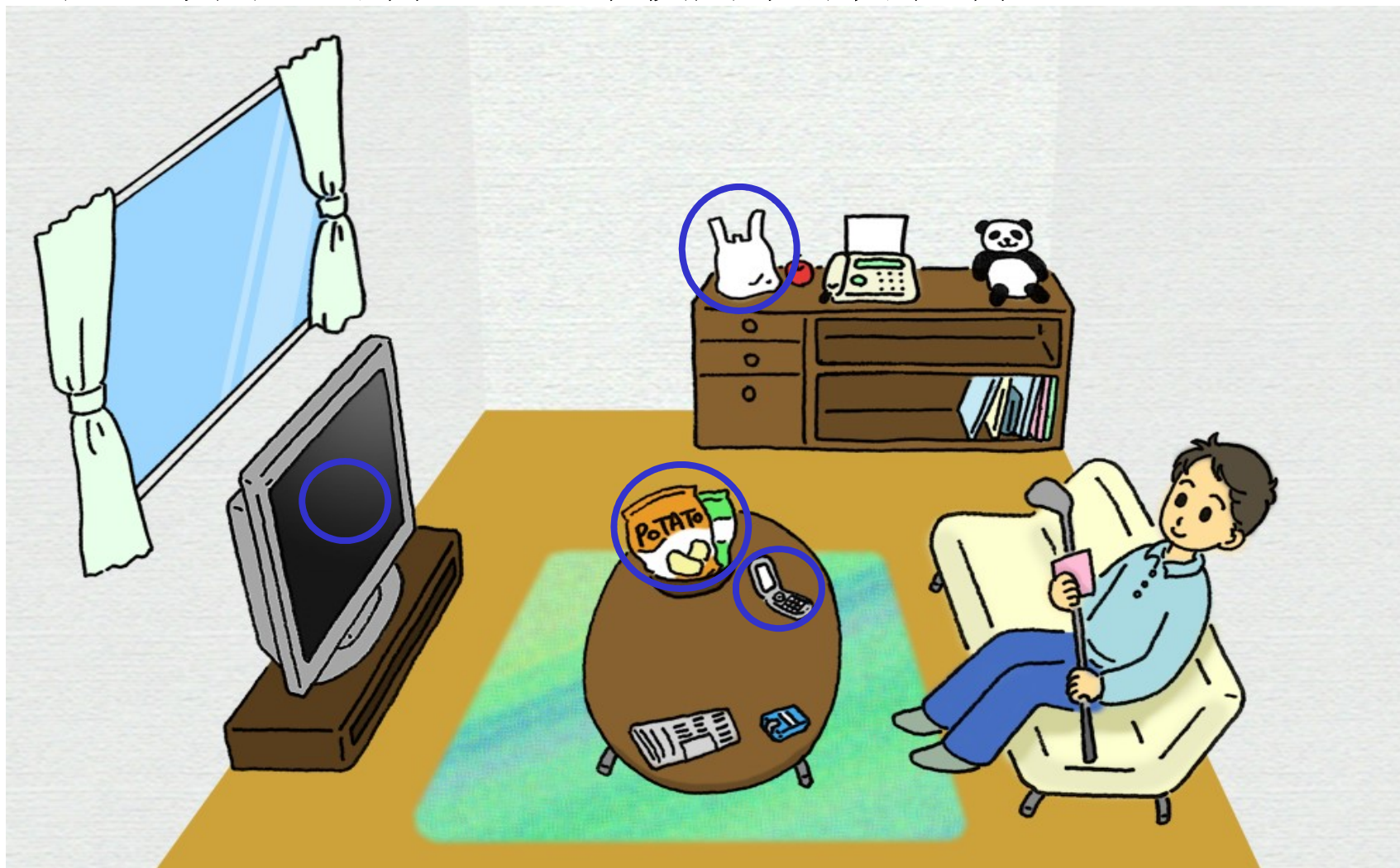
# 1. 有哪些新设备需要使用张力控制！

- 房间里有哪些东西使用了张力控制呢？



# 1. 有哪些新设备需要使用张力控制！

- 在日常用品的制造工艺中使用了张力控制。

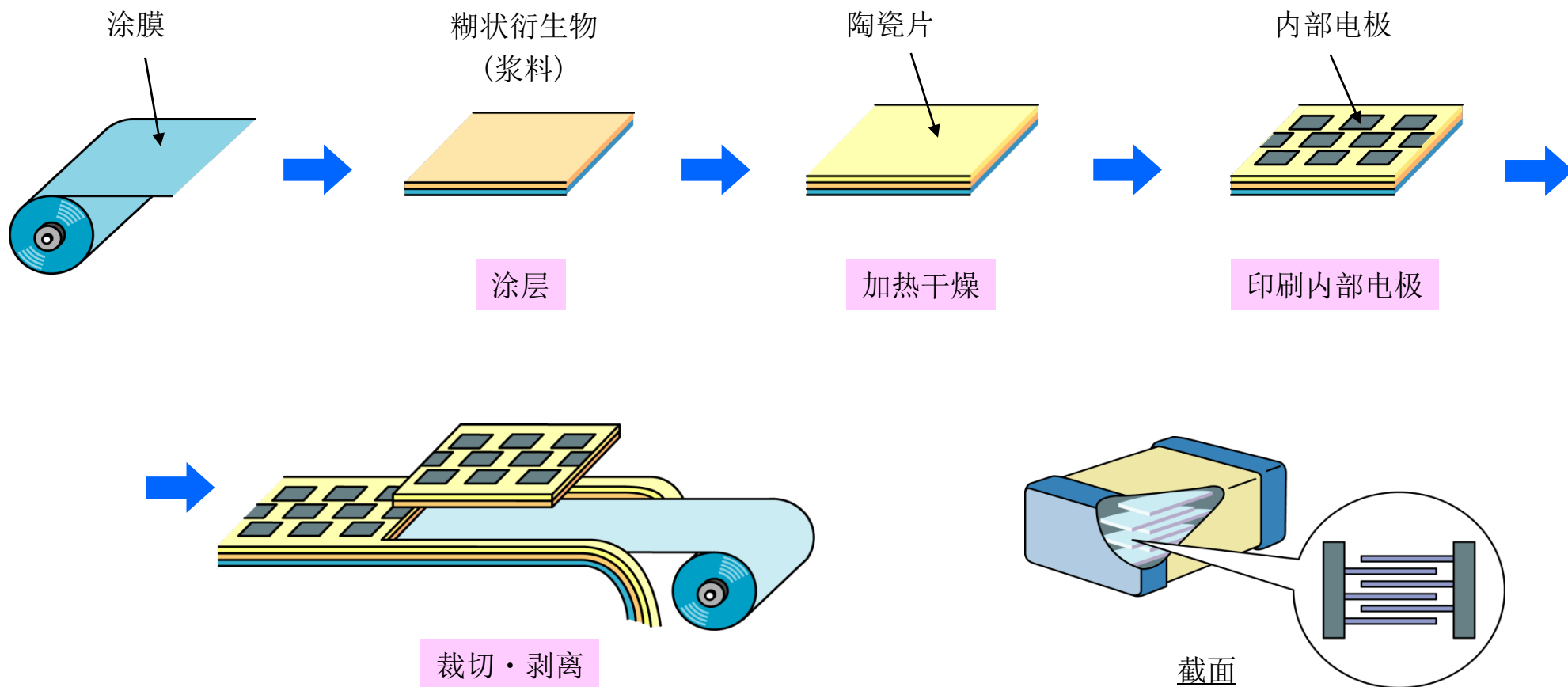


# 移动电话的零部件

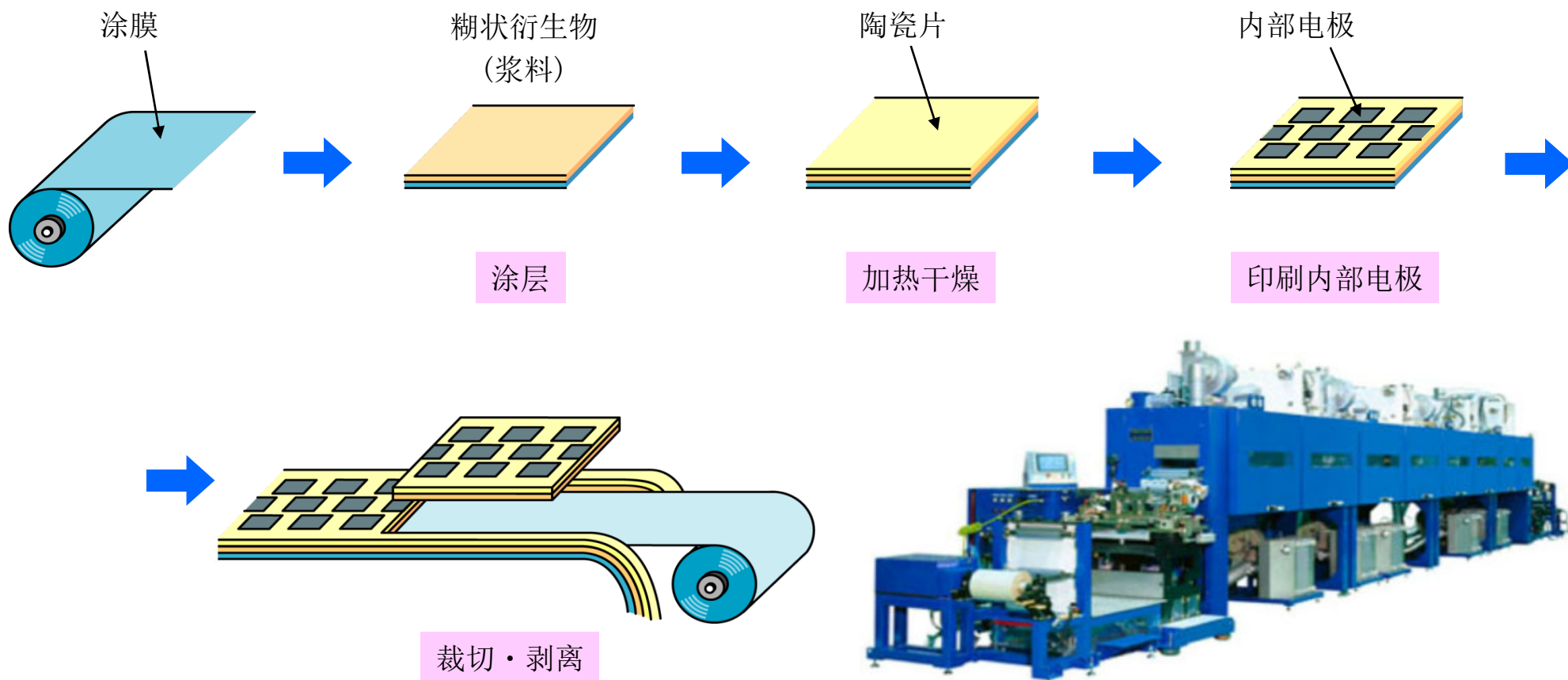


●陶瓷电容

# 陶瓷电容的制造工艺



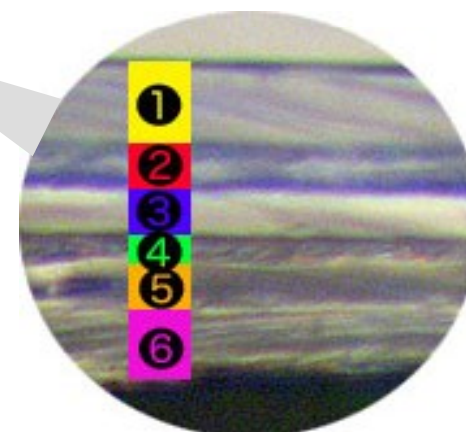
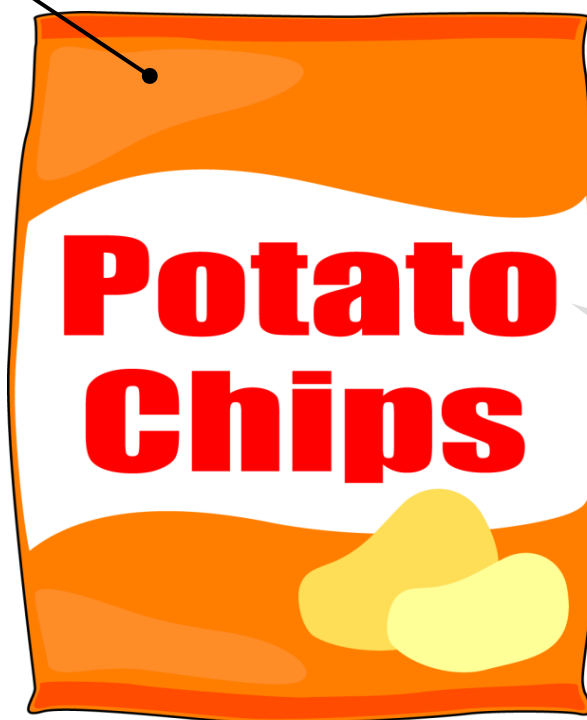
# 陶瓷电容的制造工艺



陶瓷电容涂布机  
Coater for ceramic capacitor

# 零食

- 装零食的袋子

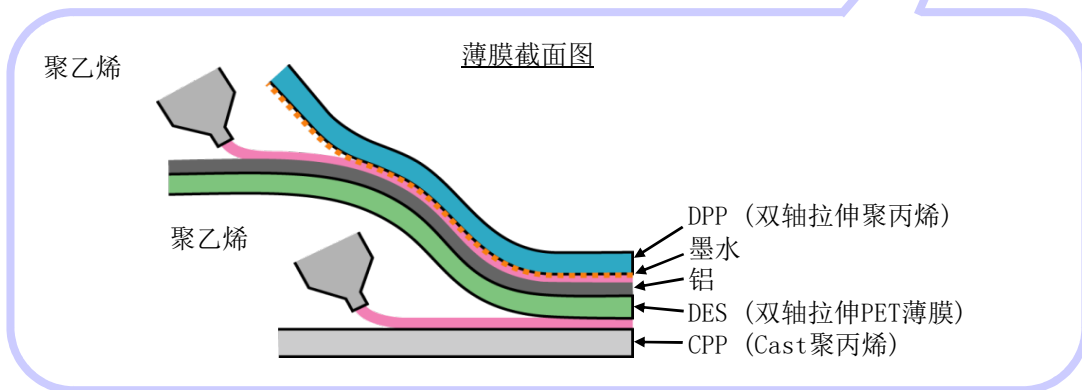
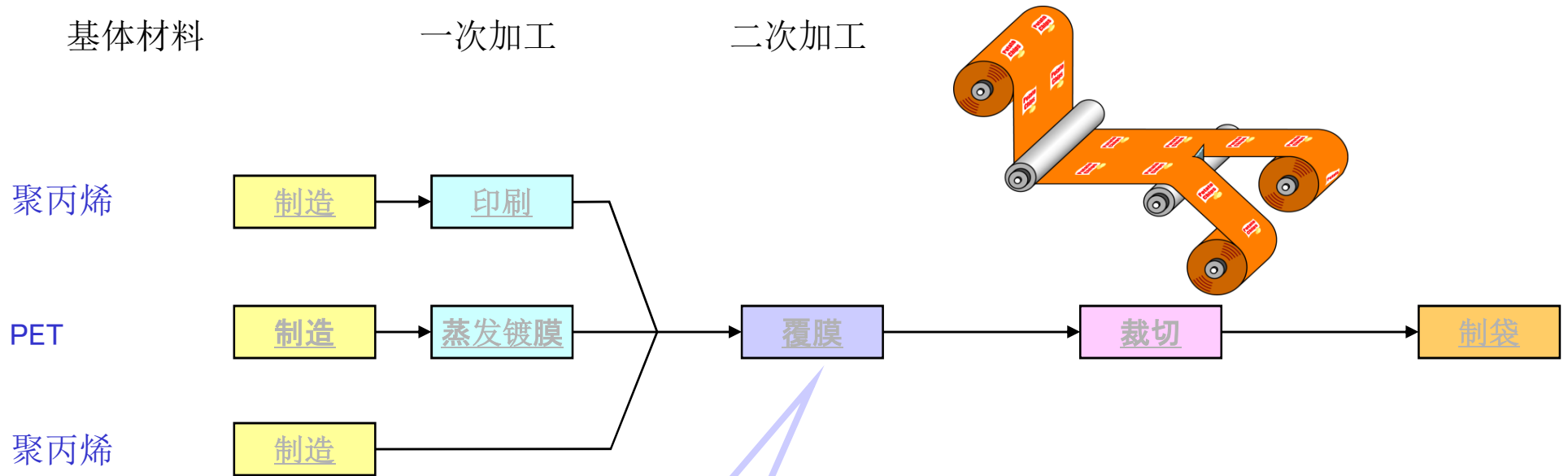


截面放大图

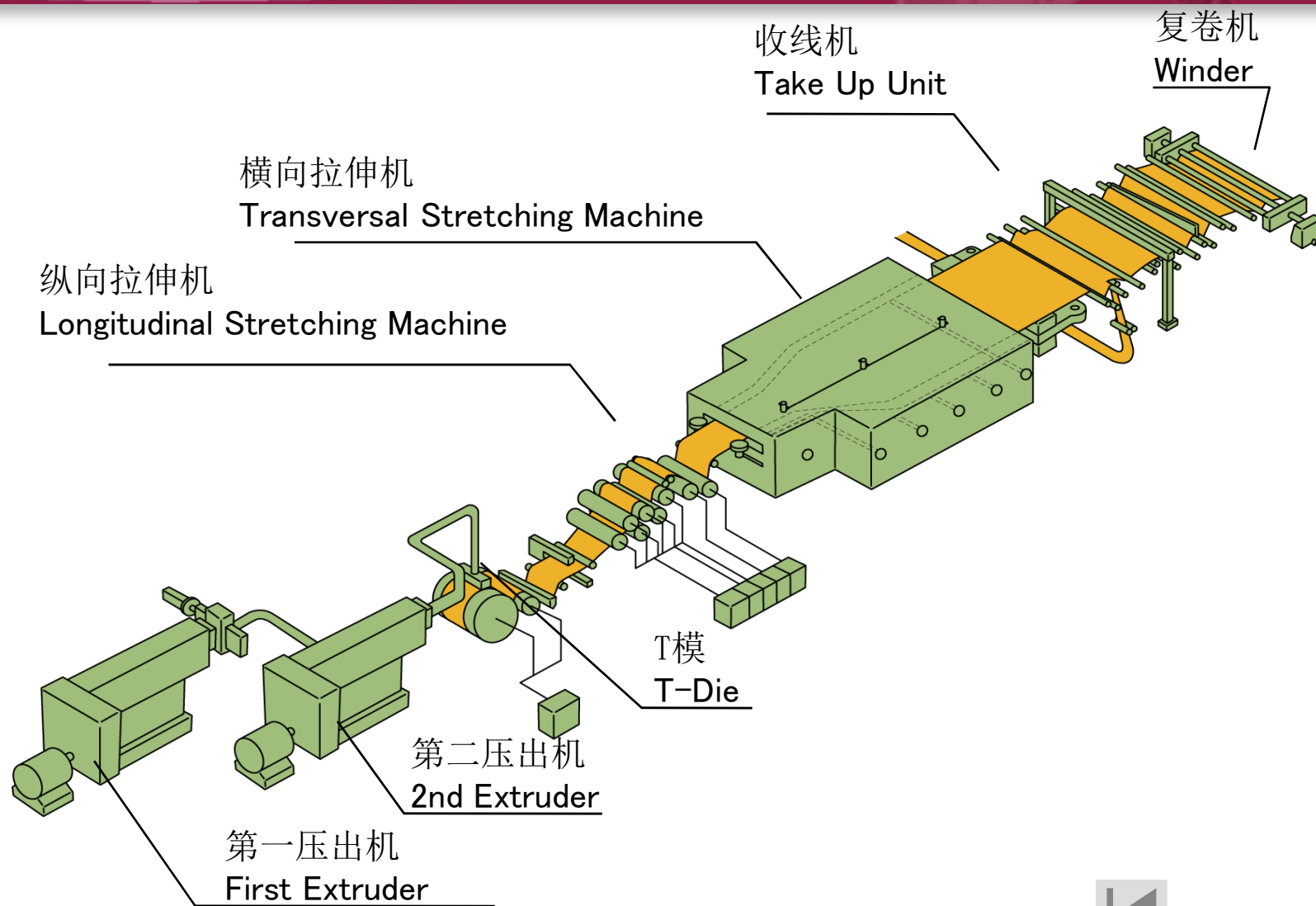
原来有6层结构！！



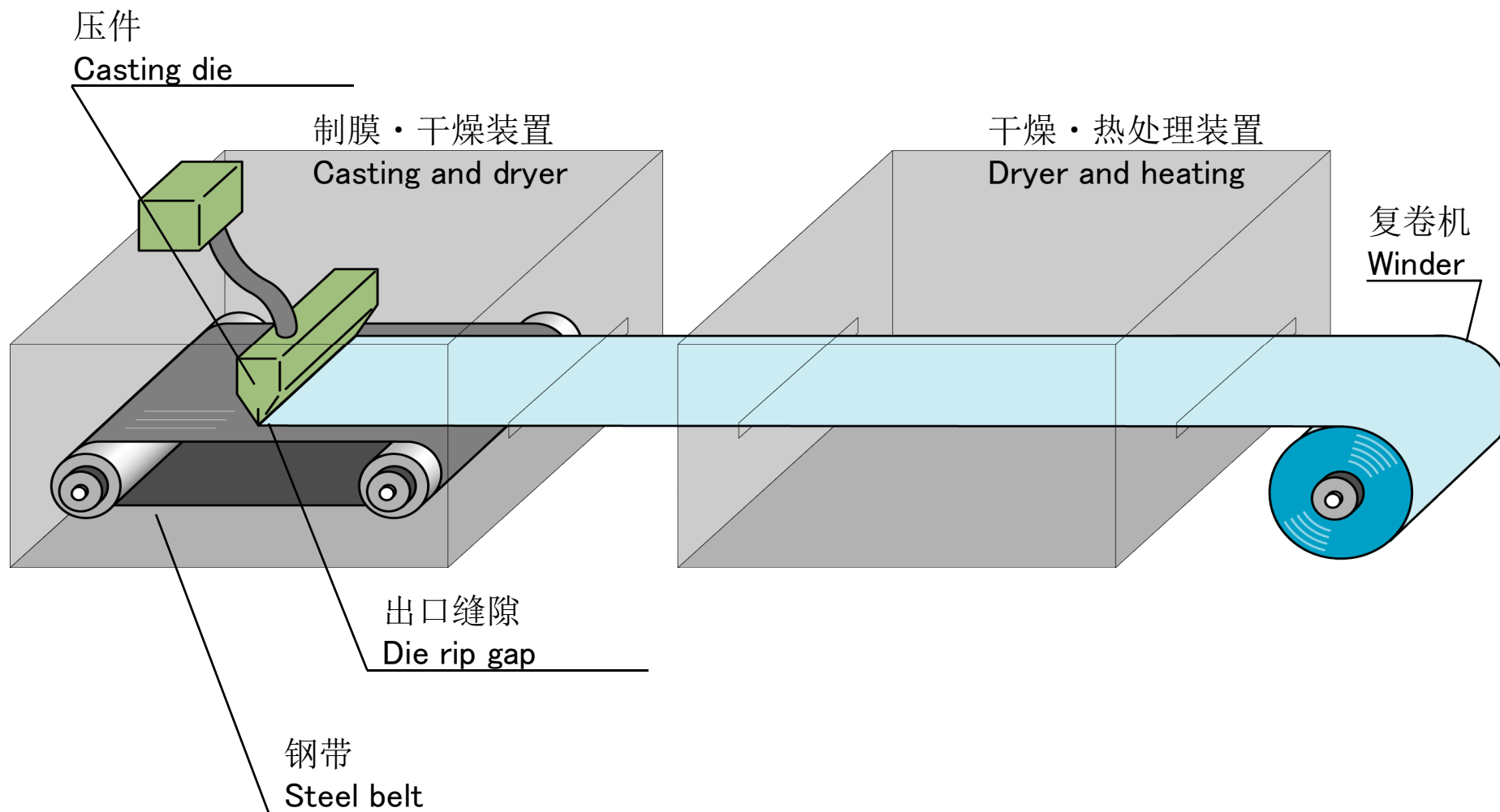
# 零食袋的制造工艺



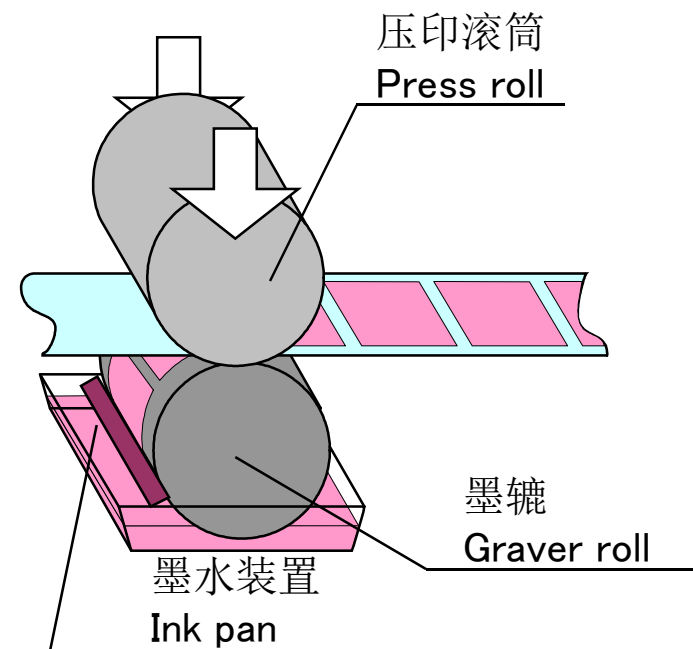
# 双轴拉伸薄膜制造装置



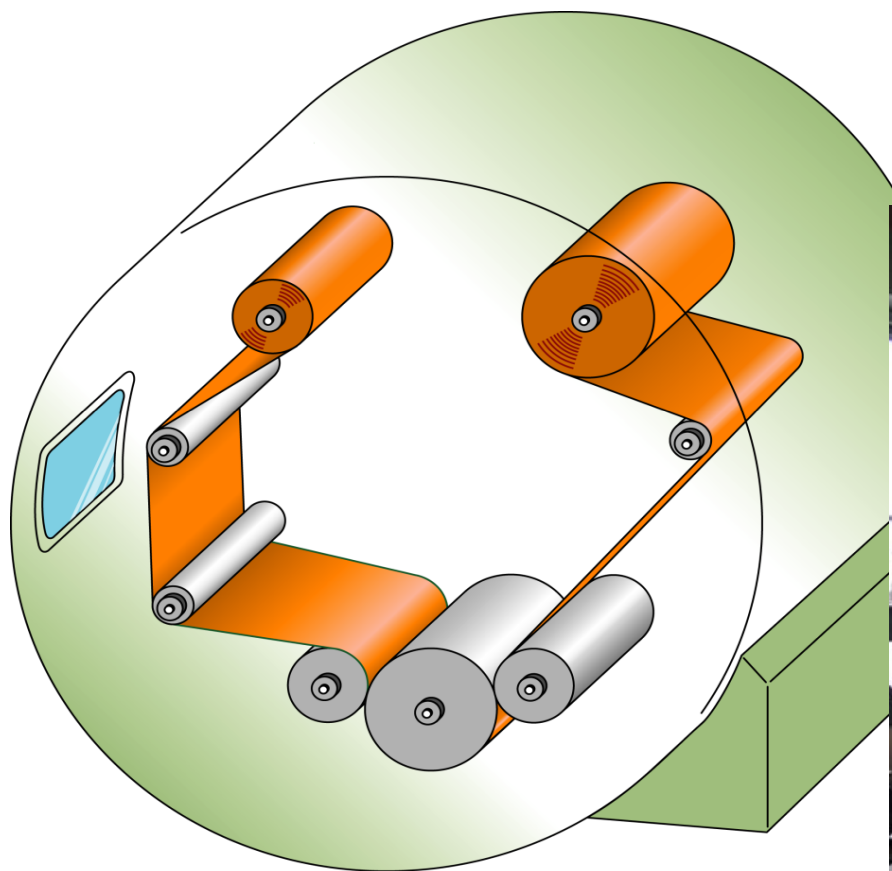
# 浇铸膜制造装置



# 凹板印刷机

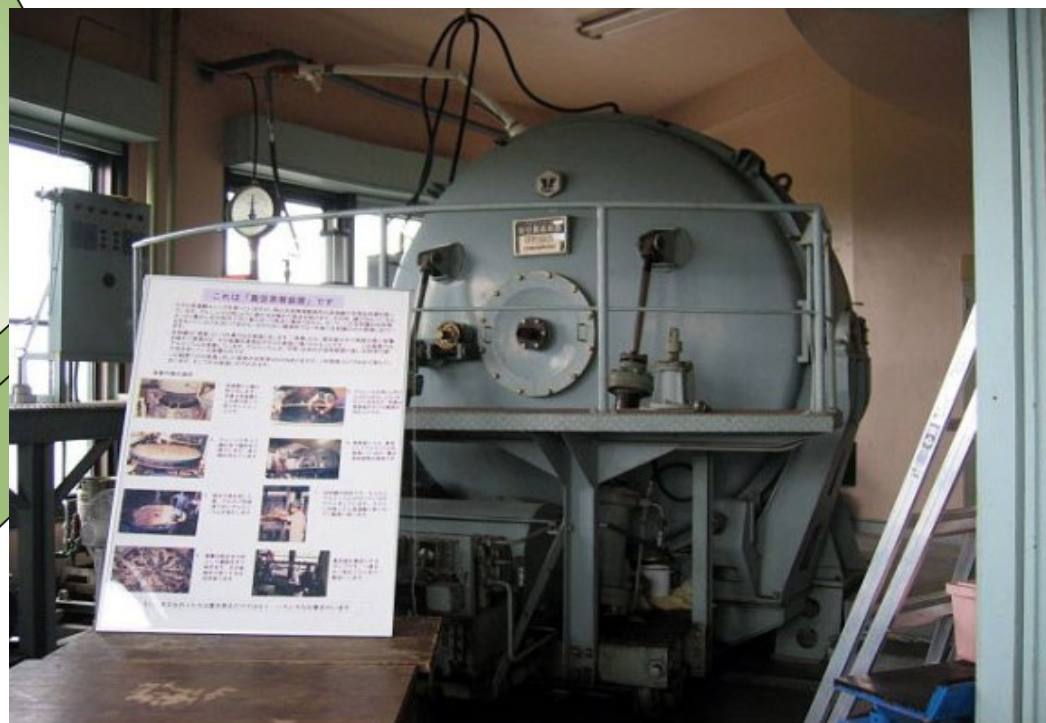


# 真空镀膜机

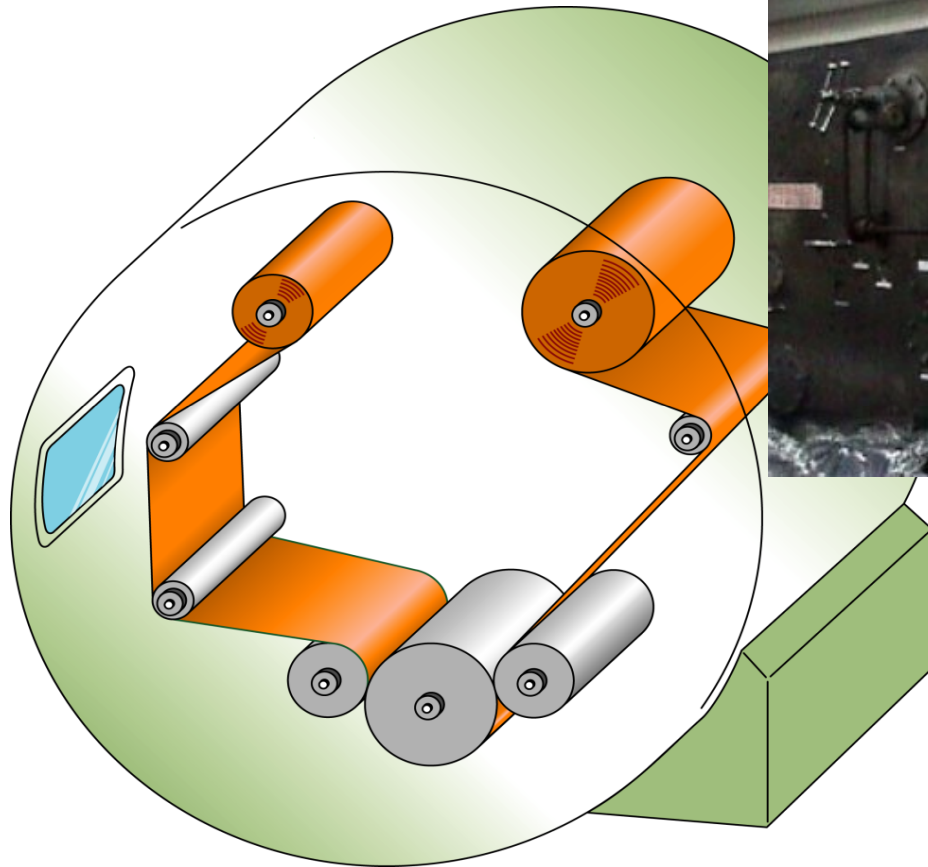


真空罐外观

Outer view of vacuumed tank



# 真空镀膜机



真空罐内部  
Inside of vacuumed tank



薄膜与机械  
Film and machine



# 覆膜机

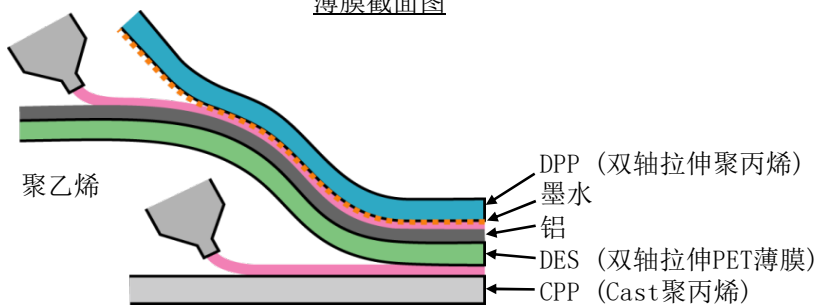


覆膜机  
Laminator



聚乙烯

薄膜截面图



# 裁切机



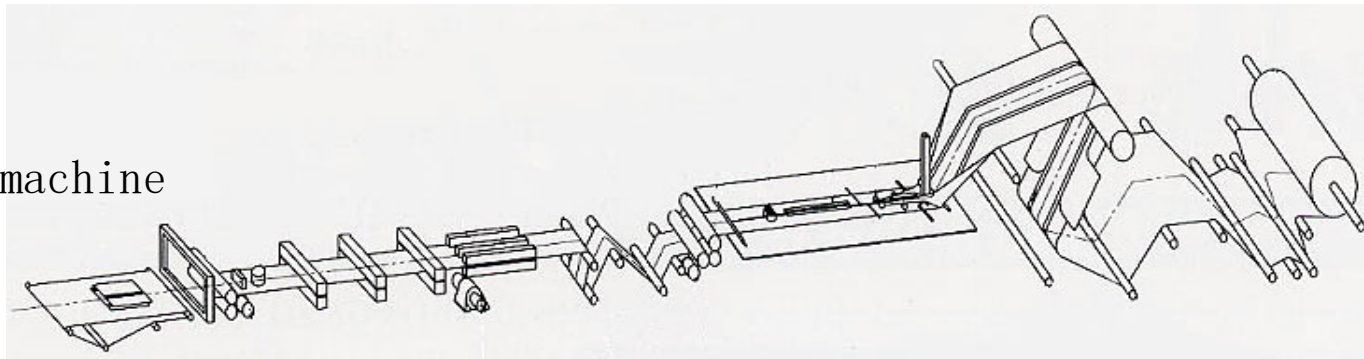
薄膜用裁切机  
Slitter for film



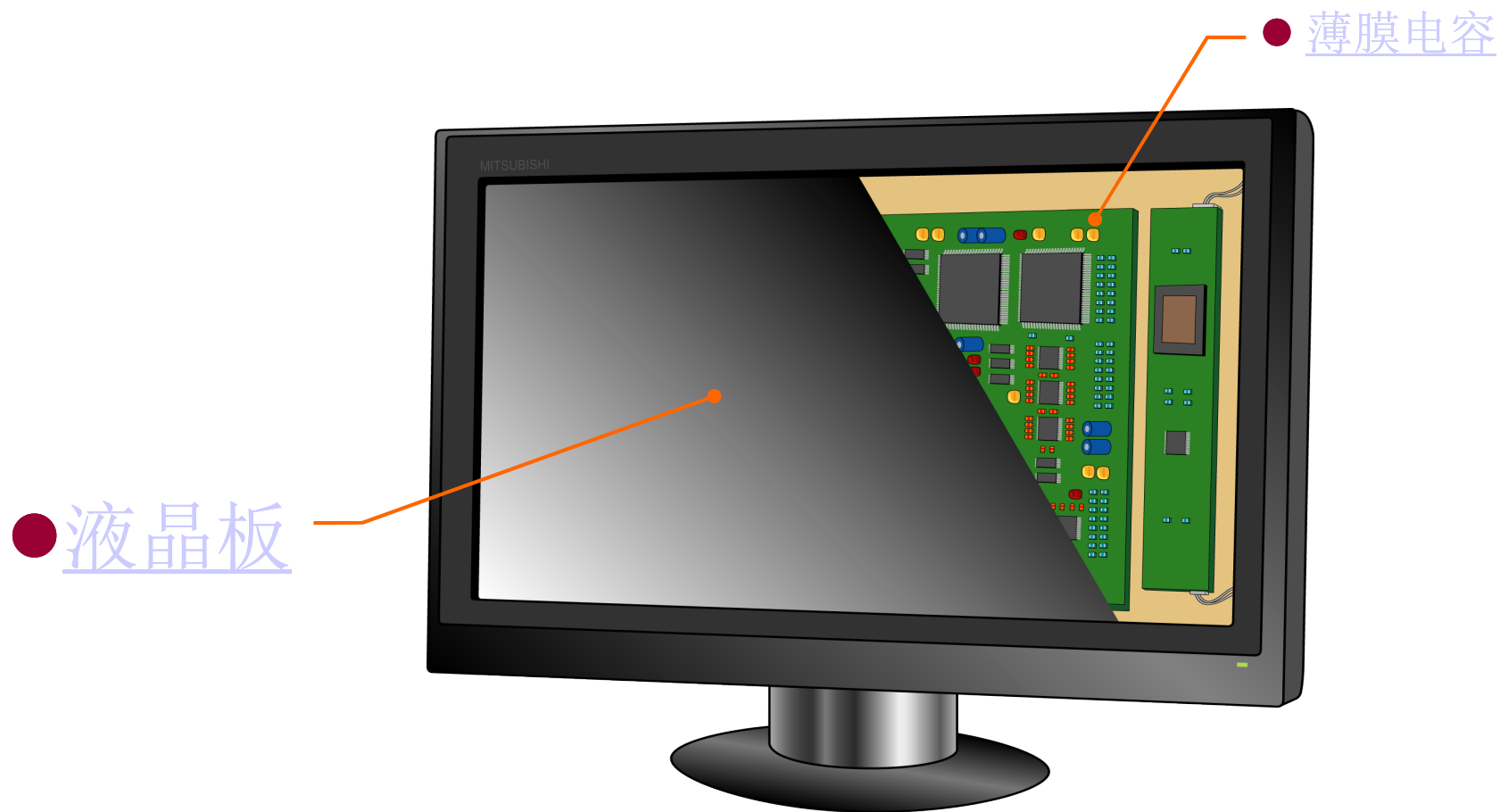


# 装袋机

装袋机  
Bagging machine

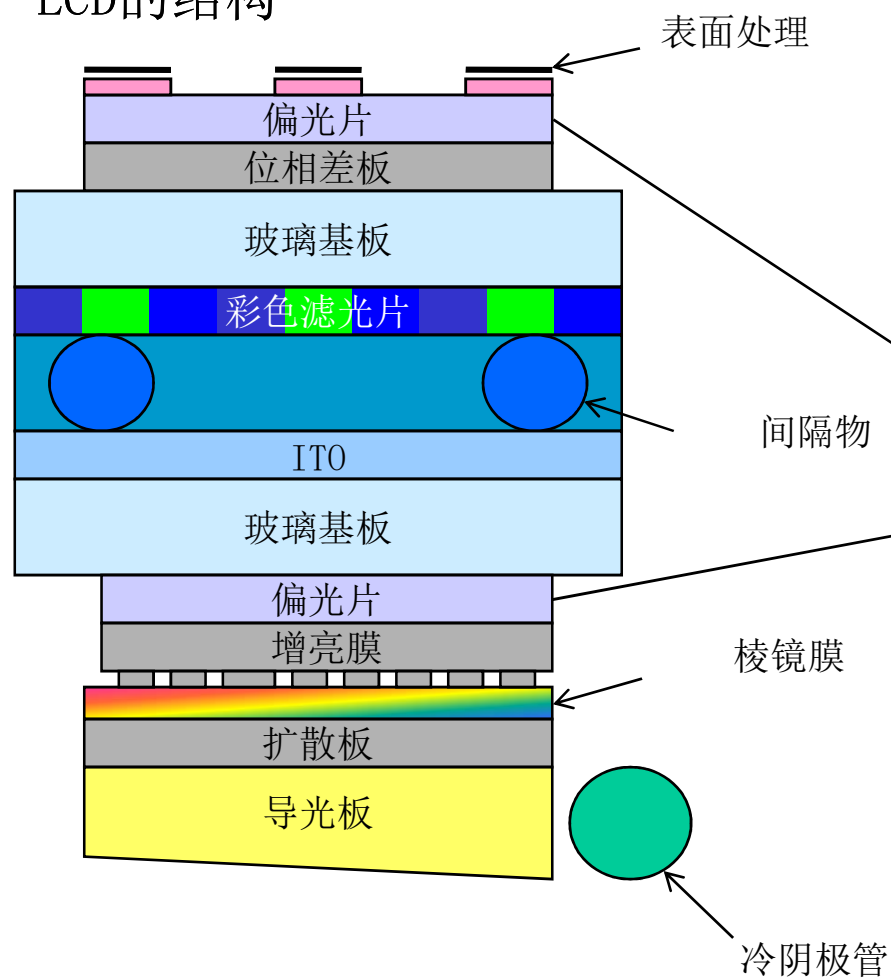


# 液晶电视机

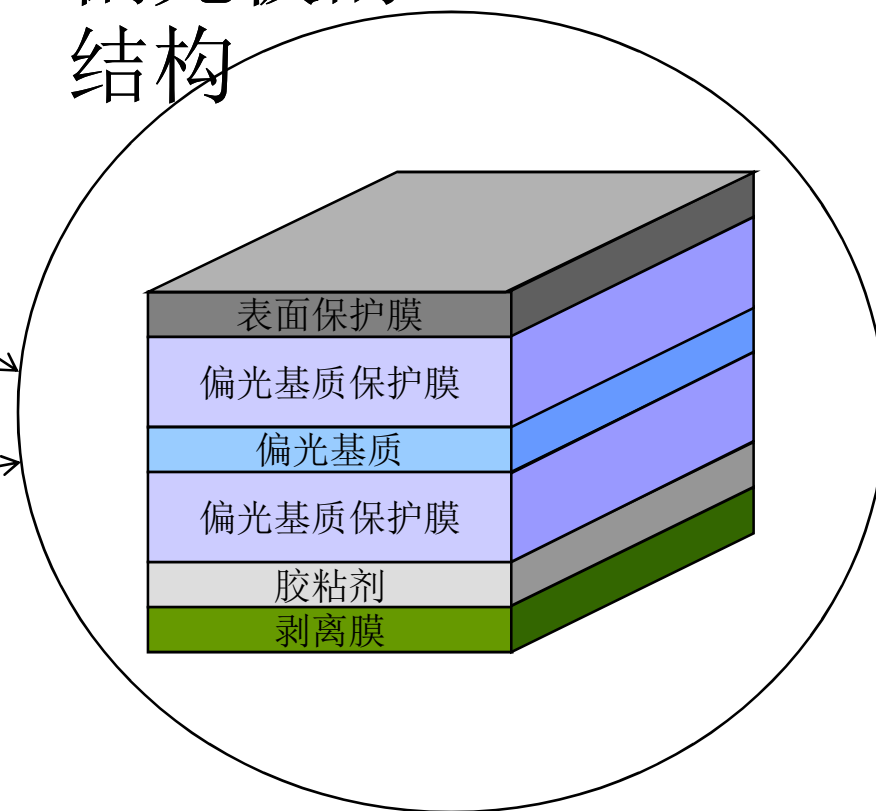


# LCD/偏光板的结构

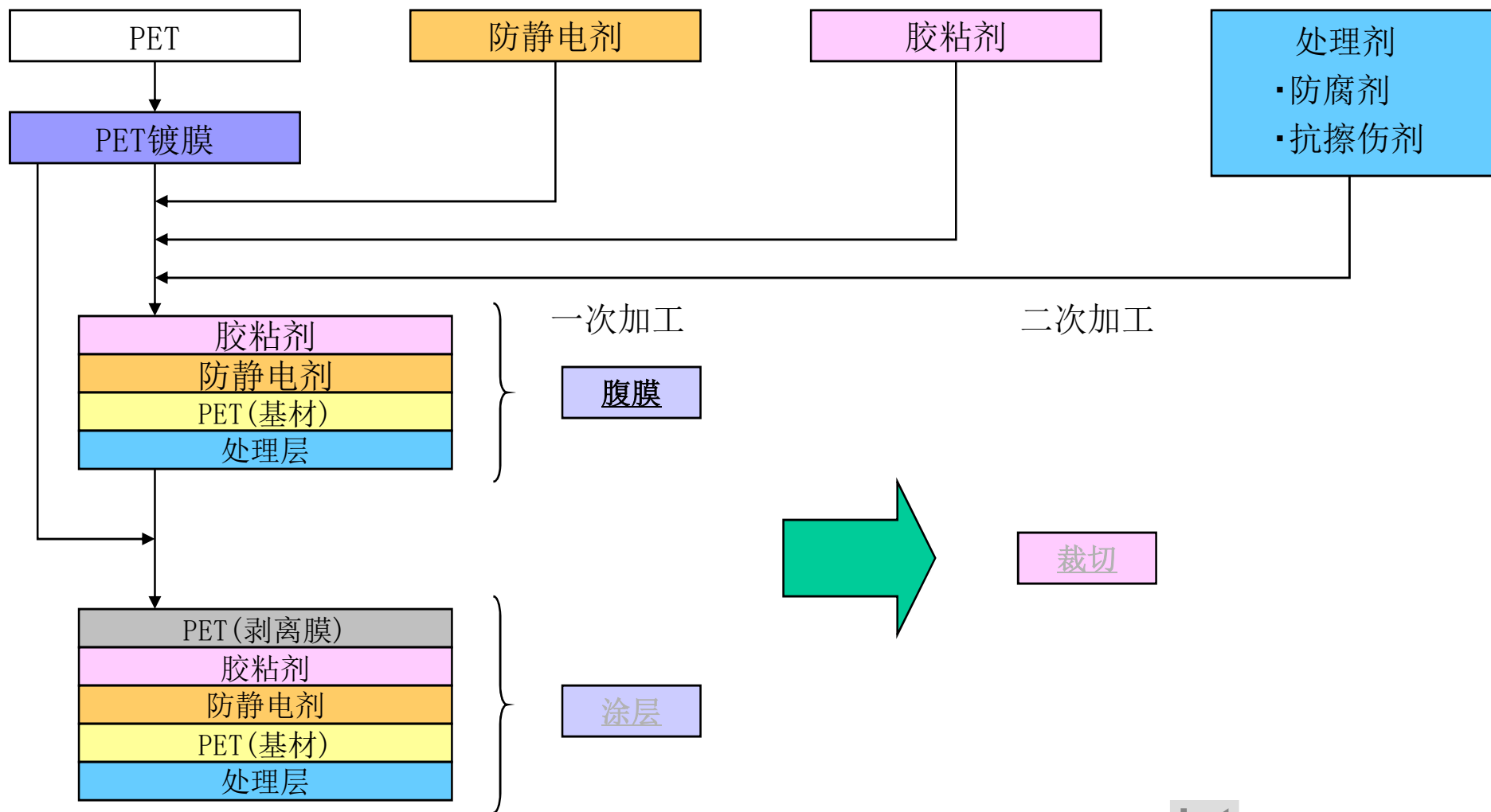
## ● LCD的结构



## ● 偏光板的结构



# 保护层的结构



# 涂层机(镀膜机)



无尘室内的涂层机  
Coater in the clean room



# 分切机

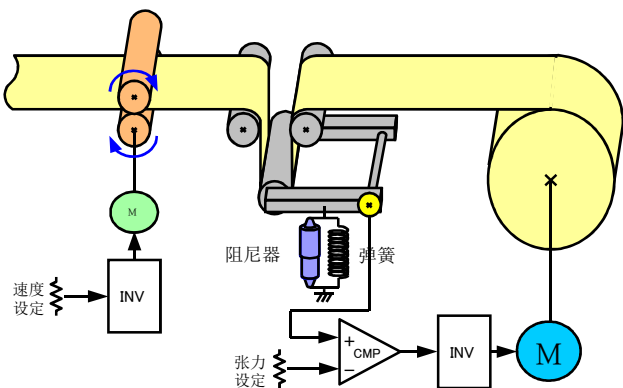


光学膜分切机  
Slitter for optical film

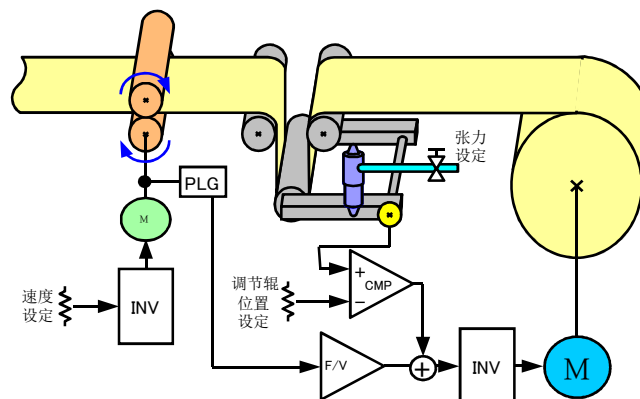


## 2. 张力控制方式

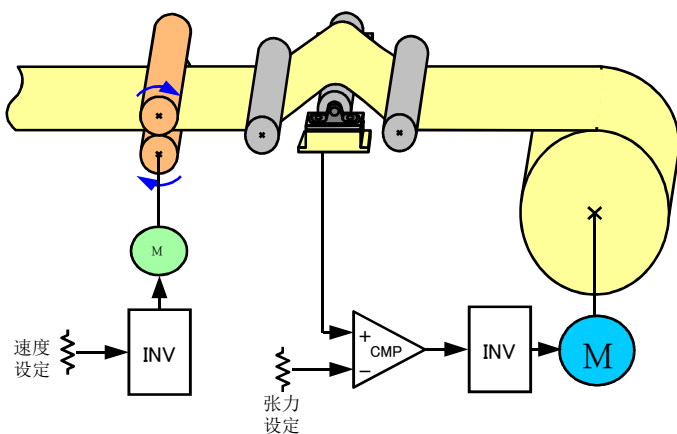
- 使用调节辊进行扭矩控制



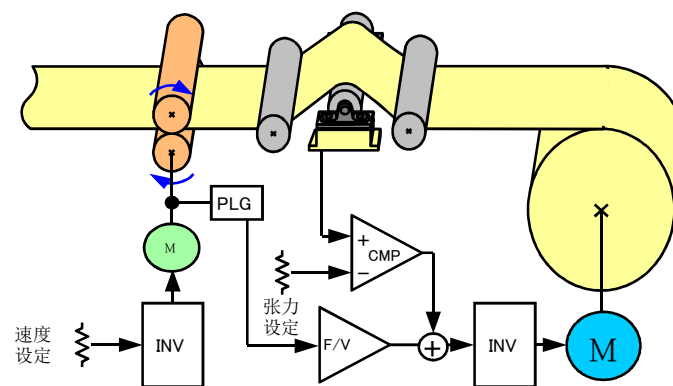
- 使用调节辊进行速度控制



- 使用张力检测器进行扭矩控制

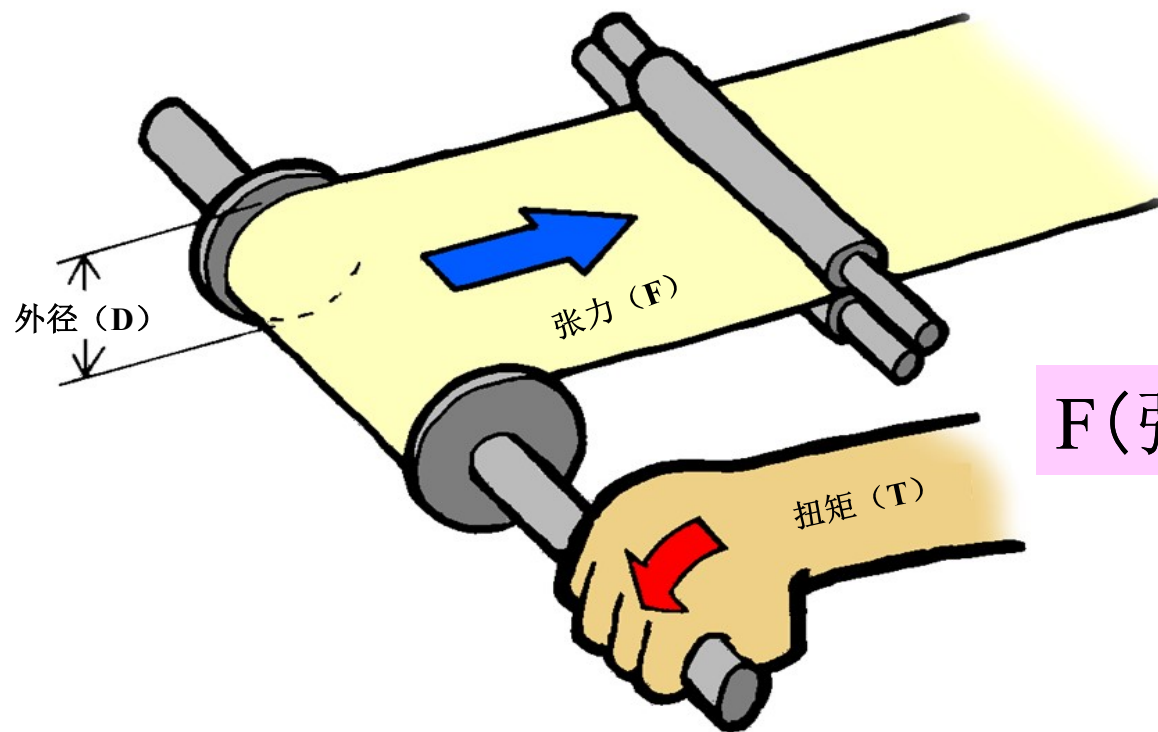


- 使用张力检测器进行速度控制



# 张力控制的基础

- 张力、卷径和扭矩的关系



左图中



$$F(\text{张力}) = \frac{T(\text{扭矩})}{r(\text{半径})}$$

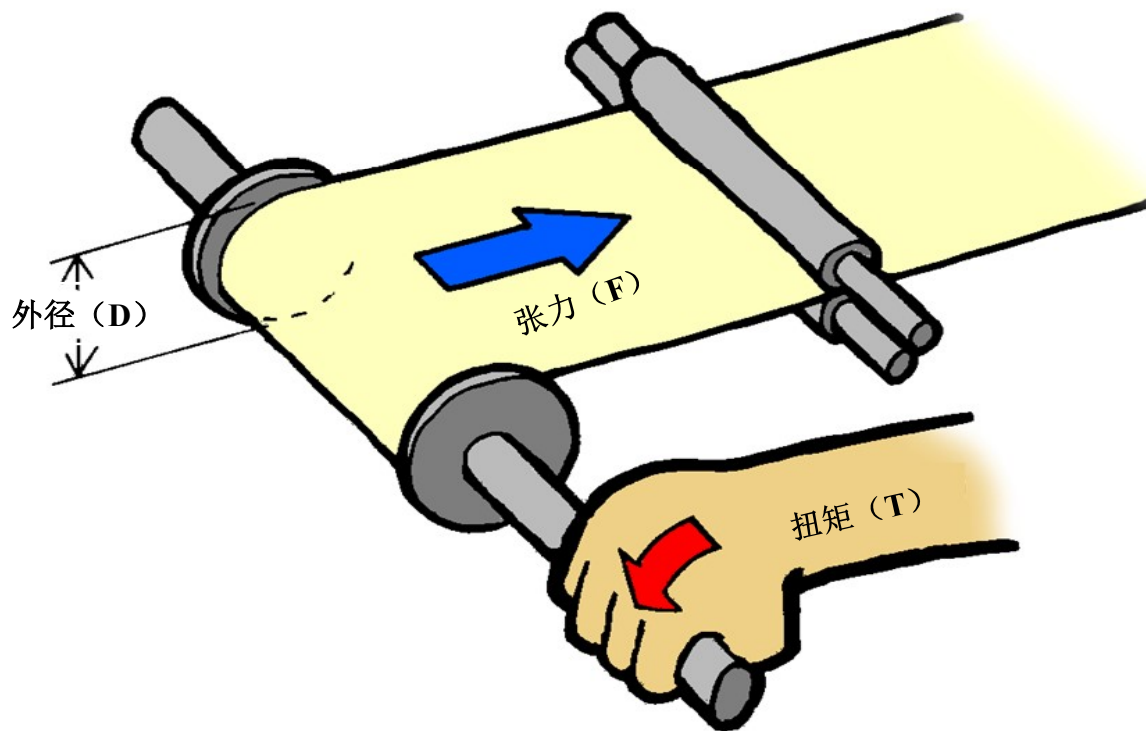
$$(D = 2 \times r)$$





# 张力控制的基础

## ● 张力、卷径和扭矩的关系



即使速度变化，张力、卷径和扭矩的关系也不变化。

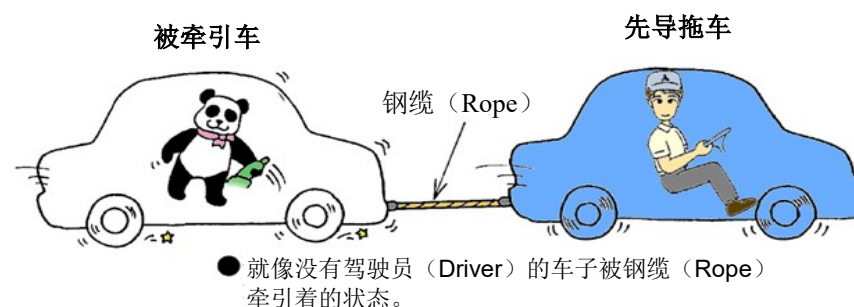
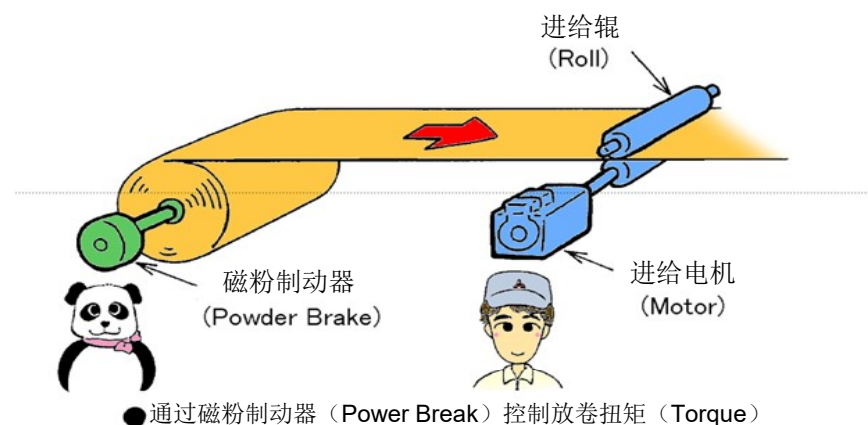
这个关系在速度控制中也成立。



# 扭矩控制和速度控制

## ● 扭矩控制

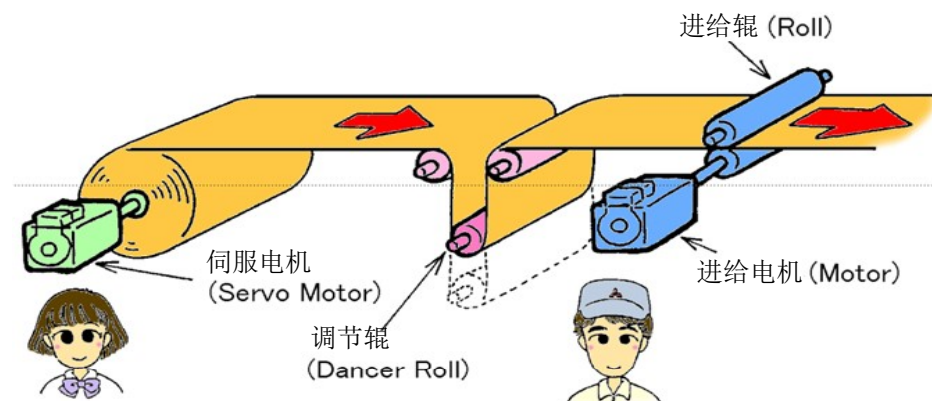
- ◆ 制动力与张力直接相关  
→ 张力控制精度较高
- ◆ 卷轴转速由进给电机牵引情况决定  
→ 会造成进给电机和卷轴的同步偏差



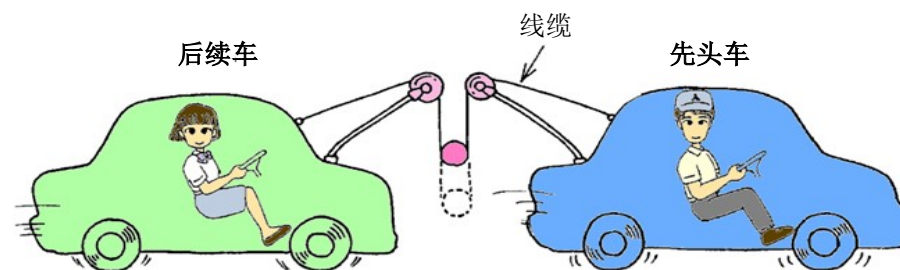
# 扭矩控制和速度控制

## ● 速度控制

- ◆ 不能控制张力  
→ 张力调节辊受力决定张力
- ◆ 卷轴转速与进给电机同步  
→ 张力稳定



- 通过伺服电机 (Servo Motor) 控制放卷调节辊装置 (Dancer)

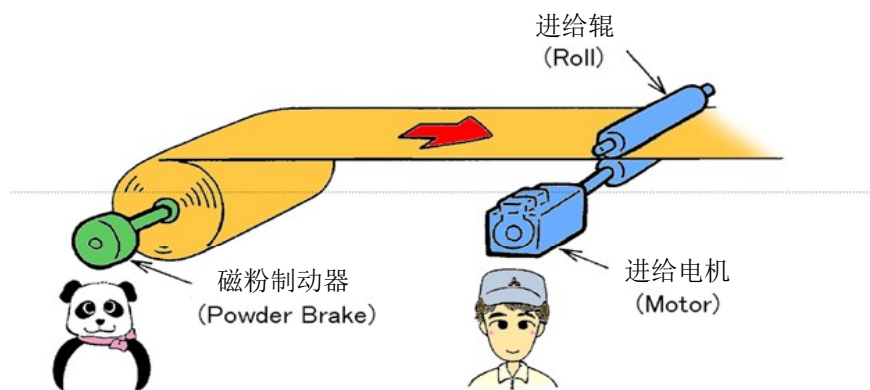


- 就像2辆车在同速行驶。



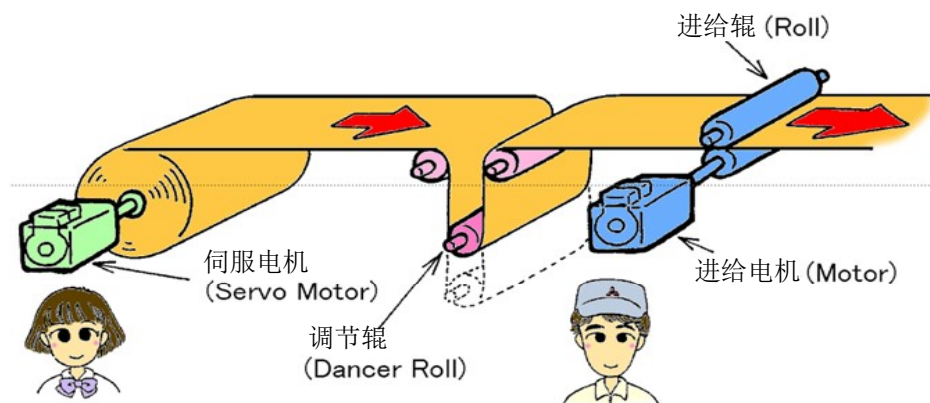
# 扭矩控制和速度控制

## ● 扭矩控制

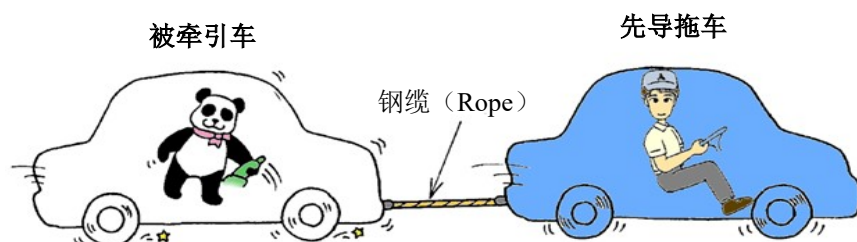


● 通过磁粉制动器 (Power Break) 控制放卷扭矩 (Torque)

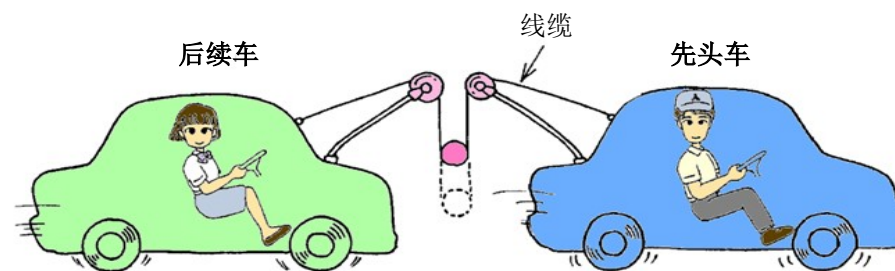
## ● 速度控制



● 通过伺服电机 (Servo Motor) 控制放卷调节辊装置 (Dancer)



● 就像没有驾驶员 (Driver) 的车子被钢缆 (Rope) 牵引着的状态。

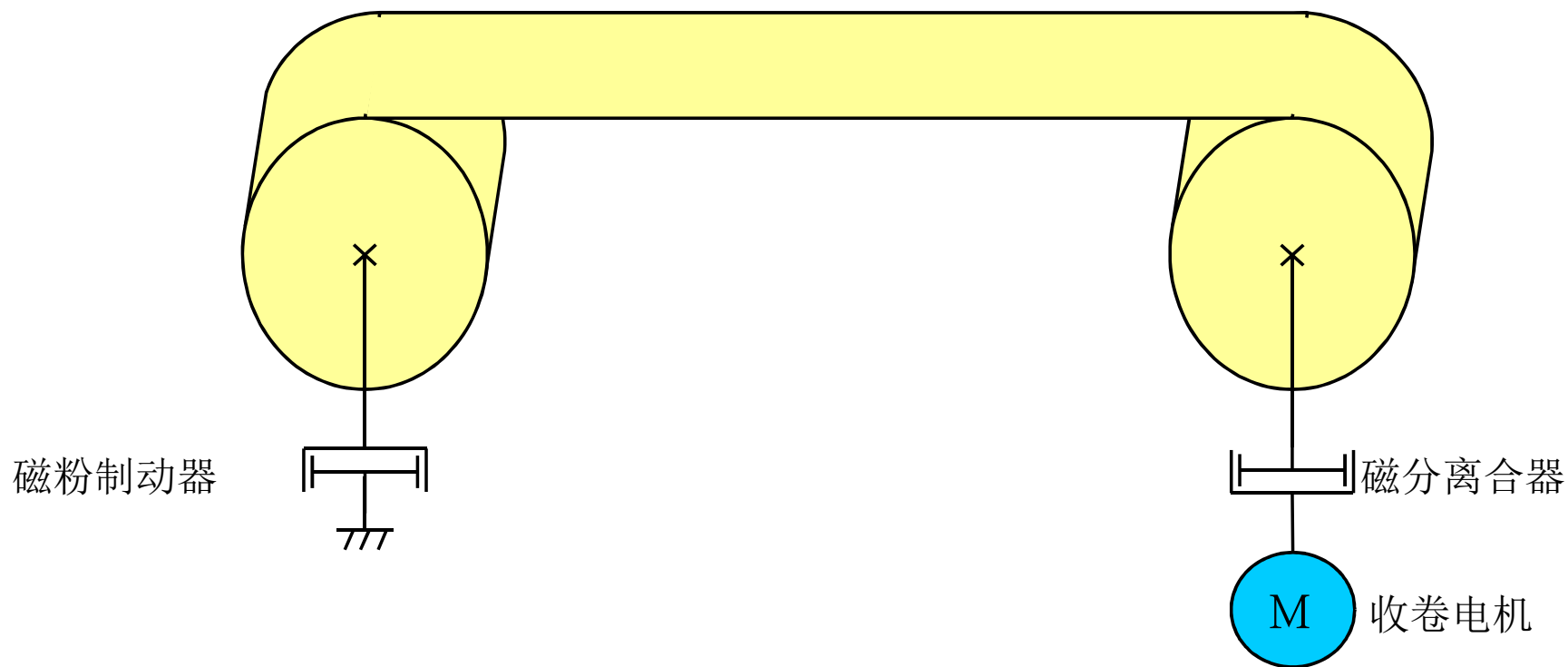


● 就像2辆车在同速行驶。



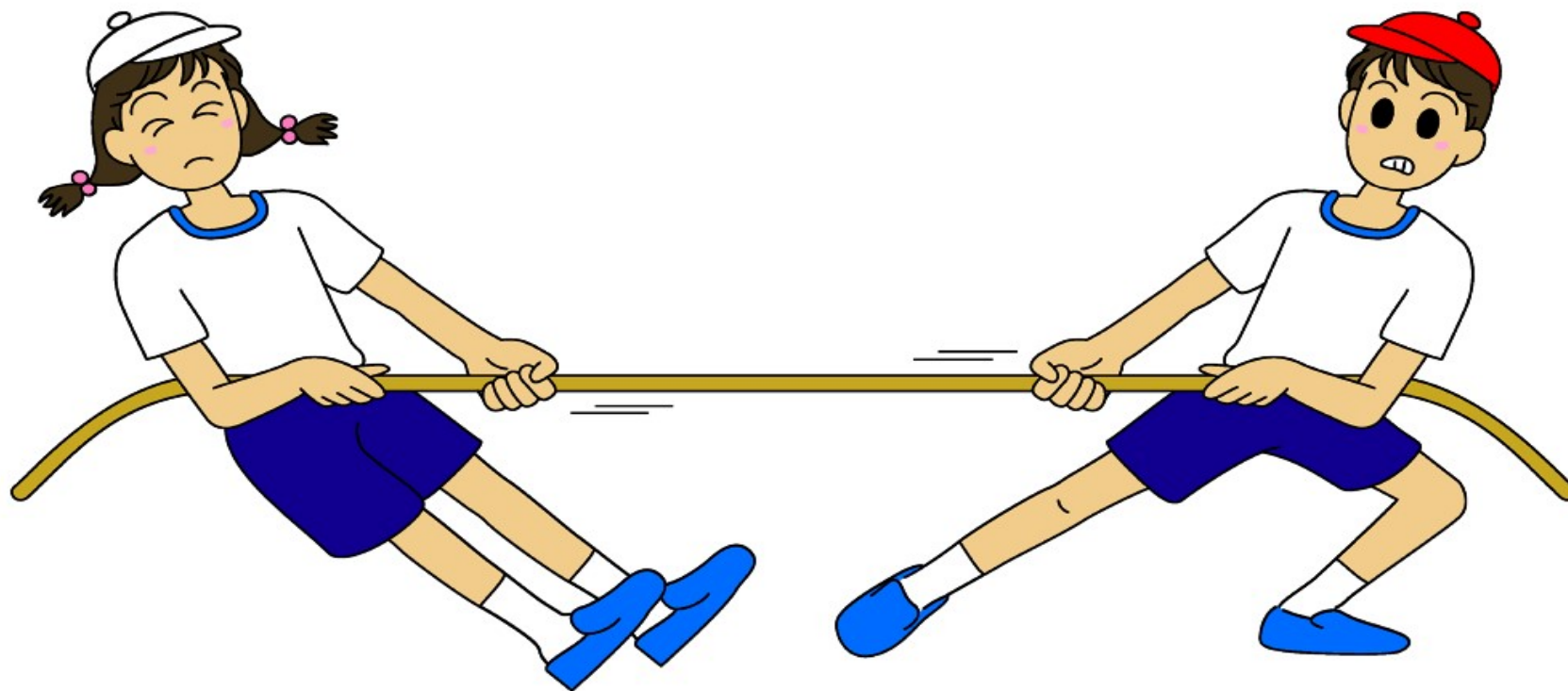
# 张力控制系统设计的基础

- 使用磁粉制动器和离合器



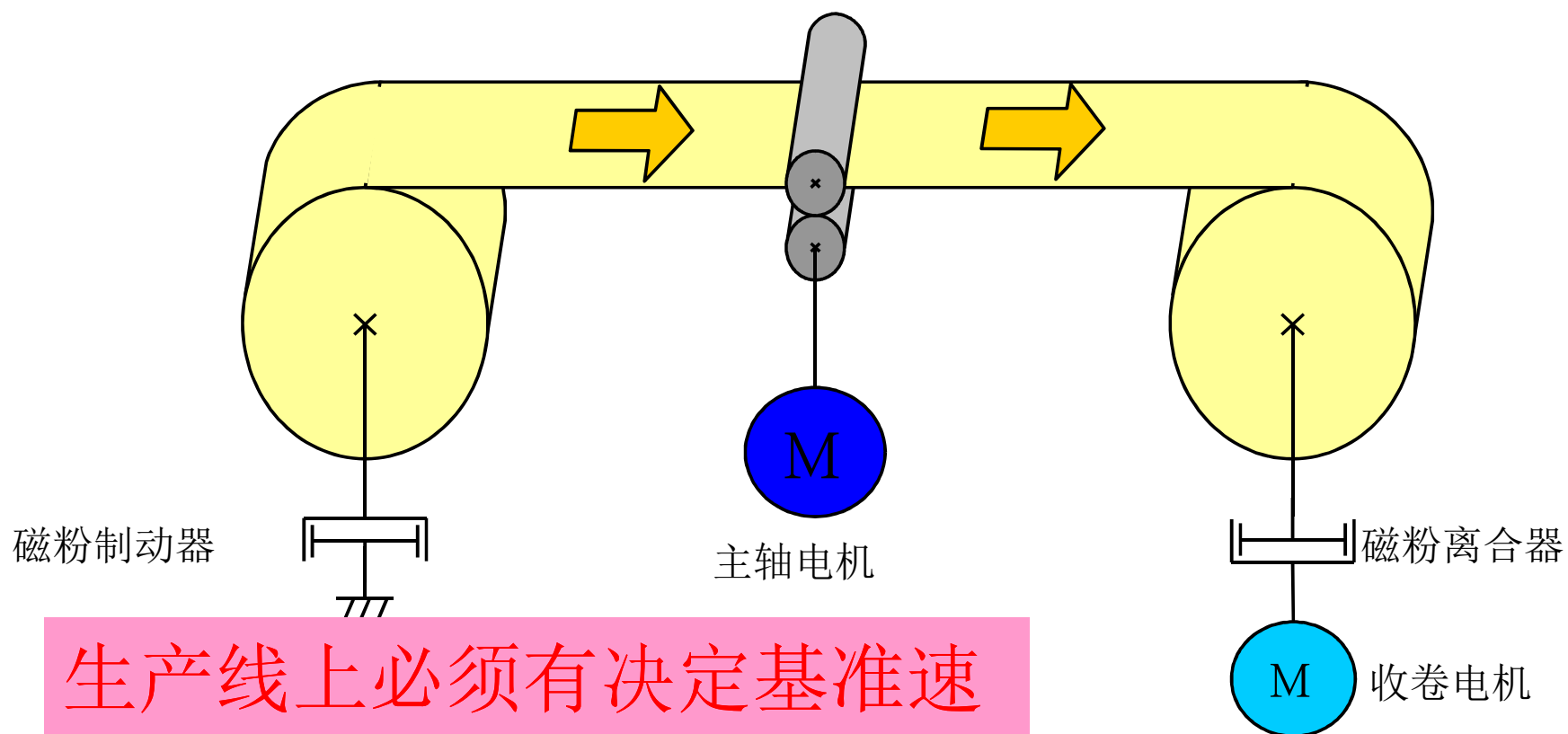
# 张力控制系统设计的基础

- 只是相互拉拔无法进行张力控制！



# 张力控制系统设计的基础

- 通过主轴控制进给速度

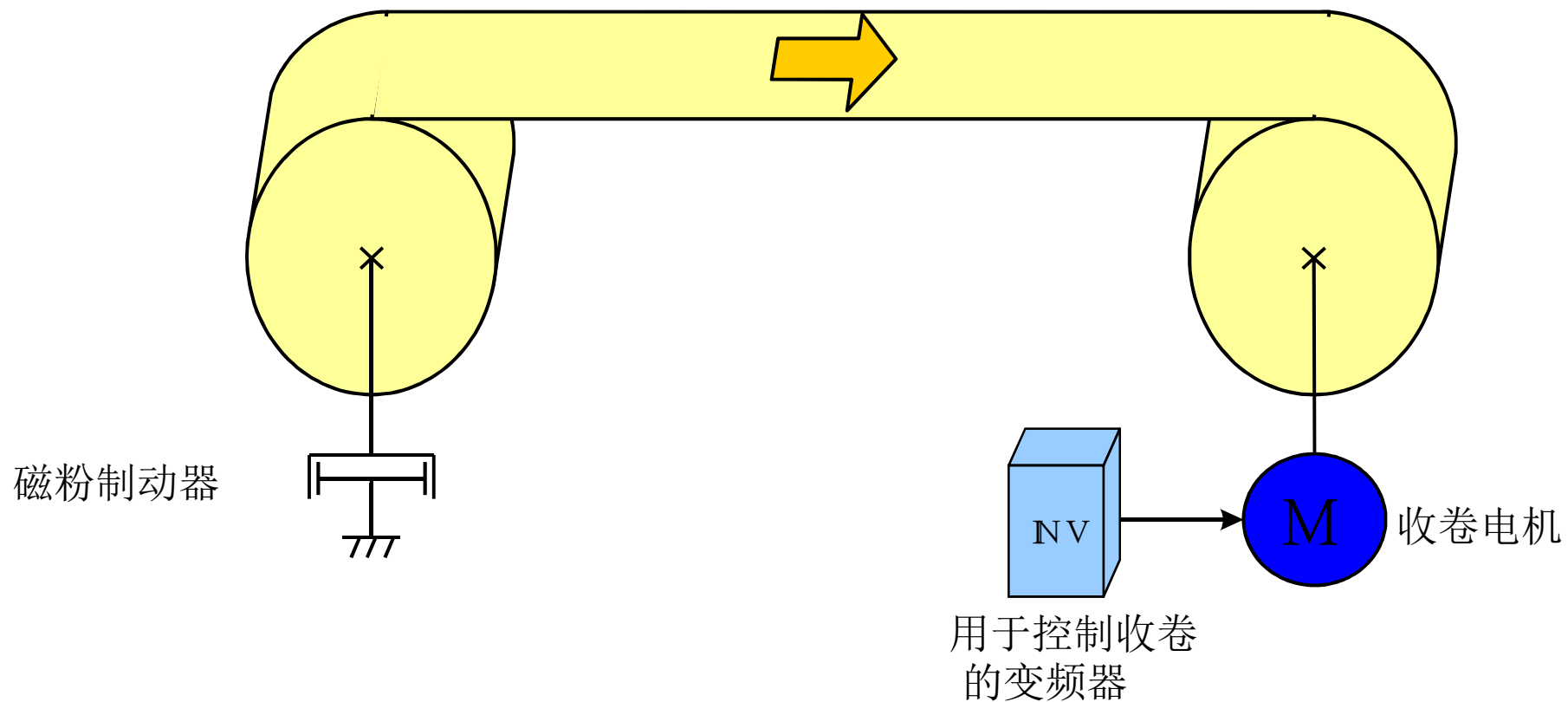


生产线上必须有决定基准速度的部分



# 张力控制系统设计的基础

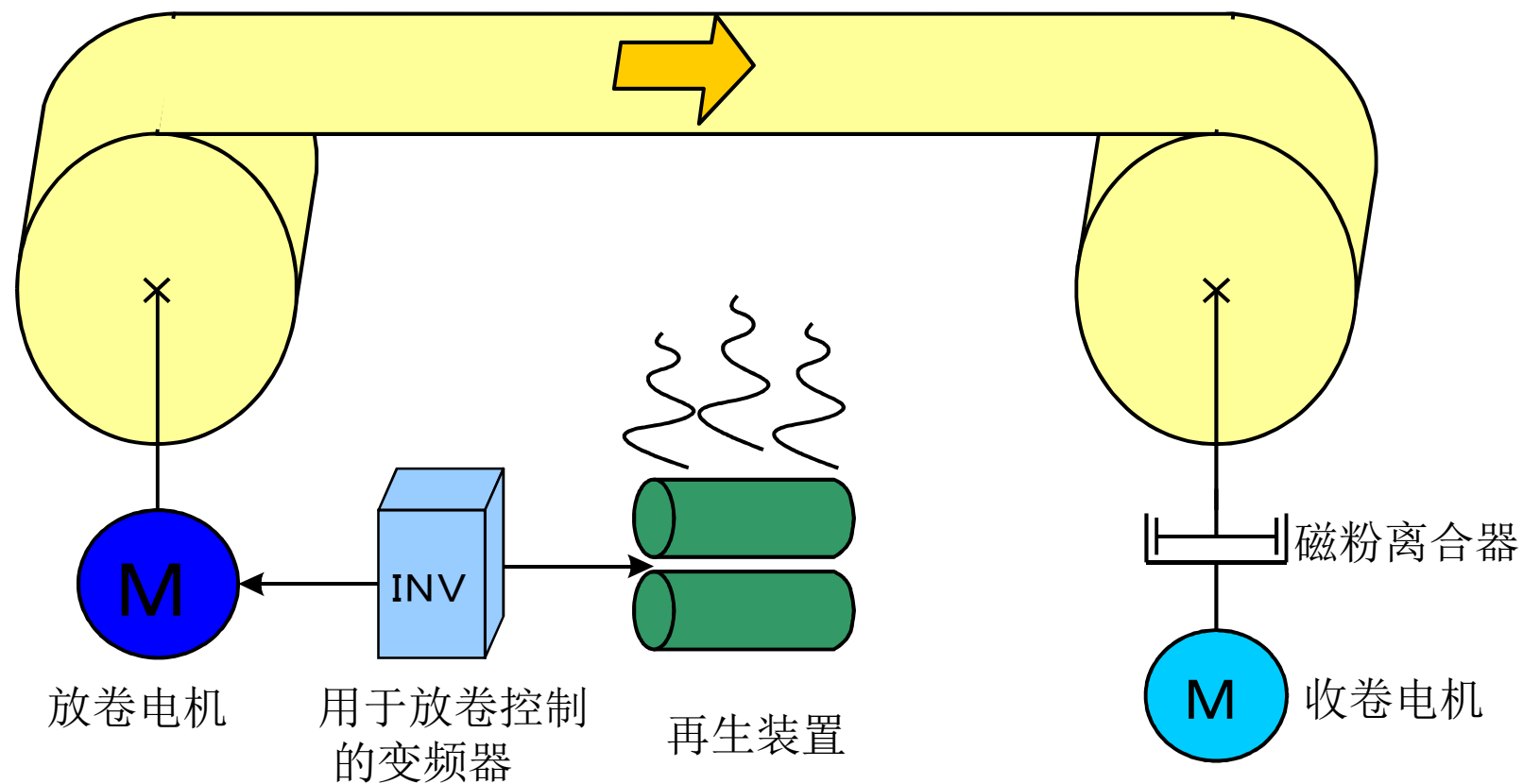
- 通过卷轴控制收卷速度





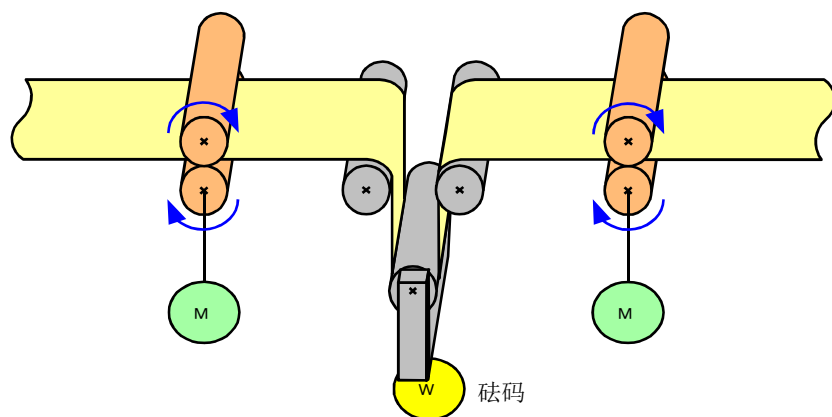
# 张力控制系统设计的基础

- 通过卷轴控制放卷速度



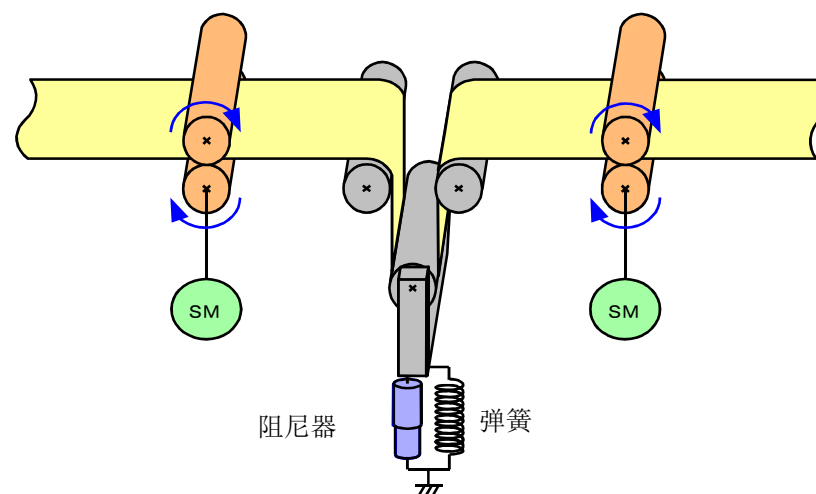
# 张力调节辊的种类和张力

## ● 重锤张力调节装置



- ◆ 张力等于砝码重量的1/2
- ◆ 张力调节位置和张力无关
- ◆ 张力调节位置取决于输入输出速度

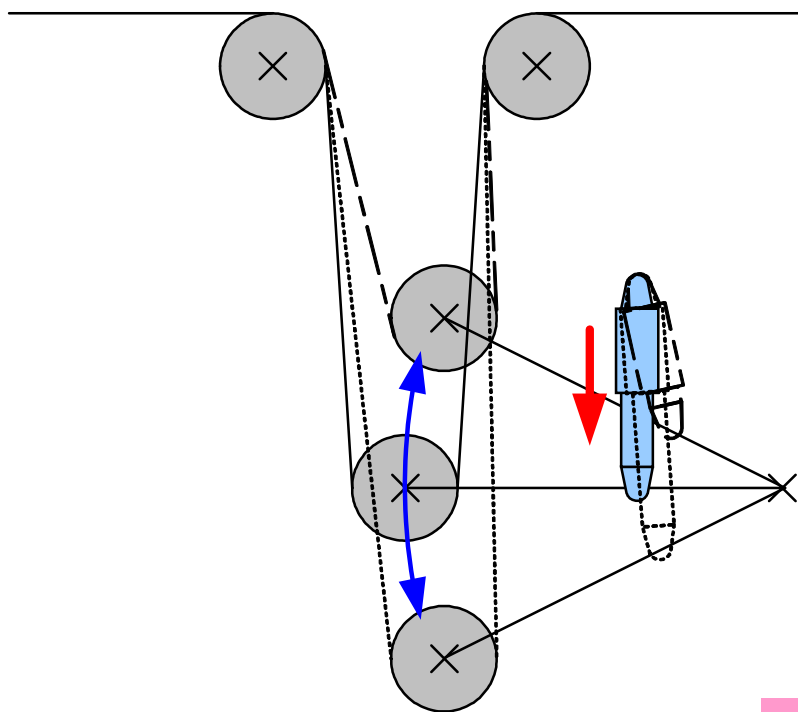
## ● 弹簧张力调节装置



- ◆ 弹簧的弹力等于张力
- ◆ 张力调节位置因张力大小而变化
- ◆ 张力调节位置与速度差异无关



# 张力调节辊位置和张力

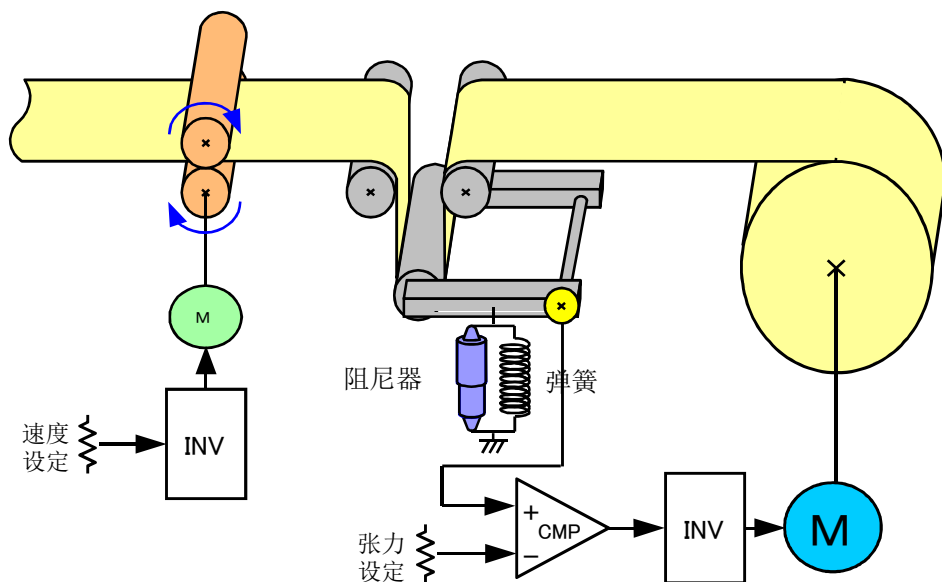


## ● 臂式重锤张力调节装置

- ◆ 即使气压一定，如果张力调节辊位置变化，张力也会发生变化
- ◆ 如果张力调节辊移动，由于张力调节辊机构的重量惯性，张力也发生变化

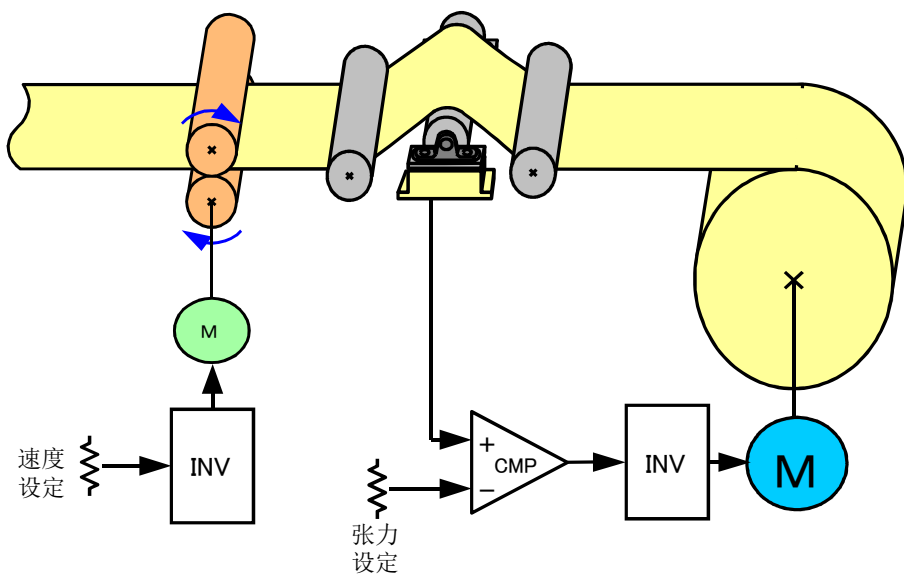
若张力调节辊不能一直保持静止，  
则张力也不能保持稳定

# 利用张力调节辊进行扭矩控制



- 它的张力控制精度比重锤张力调节装置高
- 也有吸收冲击的作用
- 张力精度比张力检测器控制的精度低
- 需要保持弹簧稳定

# 利用张力检测器进行扭矩控制



- 张力控制精度较高
- 保持一定速度运转，则张力也会稳定
- 加减速时，需要进行控制补偿
- 通过长度较长时，不利于控制



### 3. 恒定张力、锥度和恒定扭矩控制

- 染整加工产品的最终阶段是“收卷”。
- 需要保证产品“收卷”阶段的最终品质为最优。 品质 ⇒ 产品价值
- 收卷时经常出现因材料卷紧引起“菊花花纹”等问题。
- 胶片、薄膜等薄的材料。

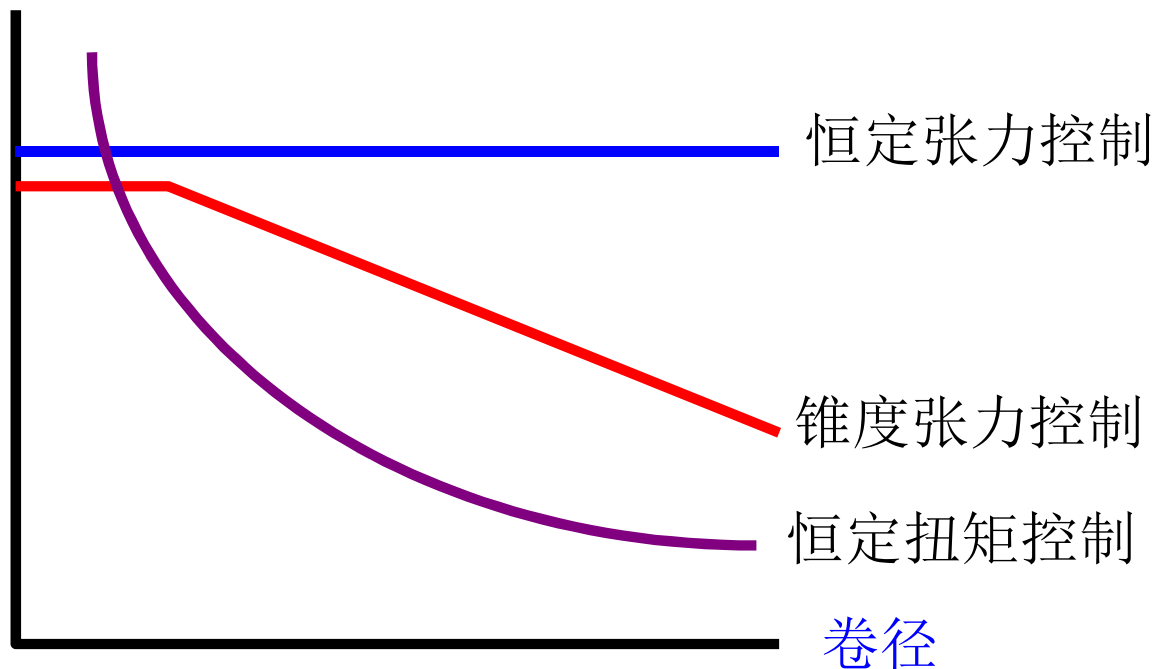




# 恒定张力、锥度张力和恒定扭矩

- 因张力控制方式不同而引起的差异

张力



一定

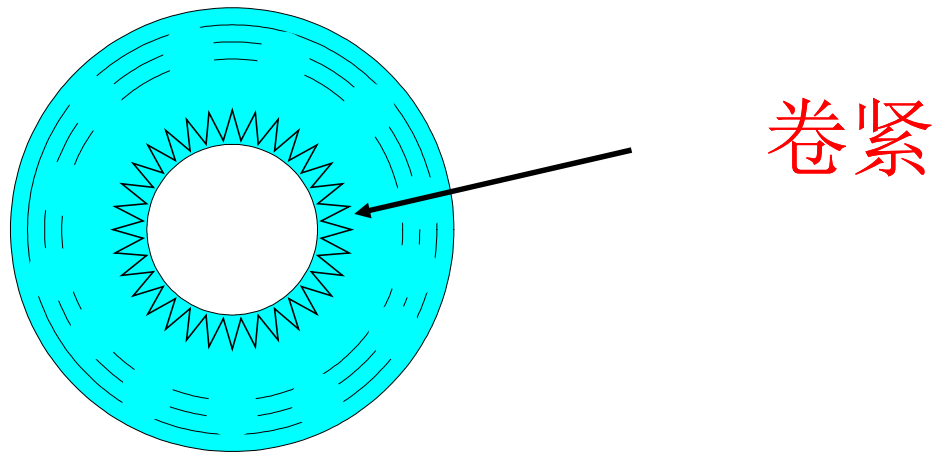
递减

反比例



# 恒定张力引起的问题

- 菊花花纹 → 恒定张力控制时的不良现象  
因外层卷收紧引起内层张力下降  
(压缩)，而导致出现这种情况。



胶片内侧受损。

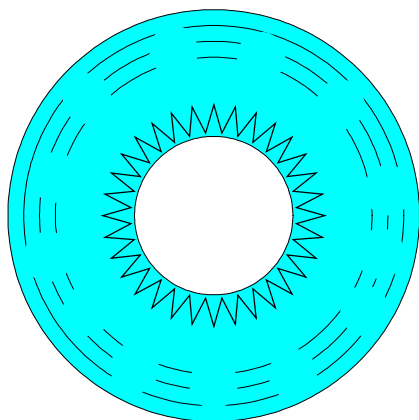


# 卷紧问题

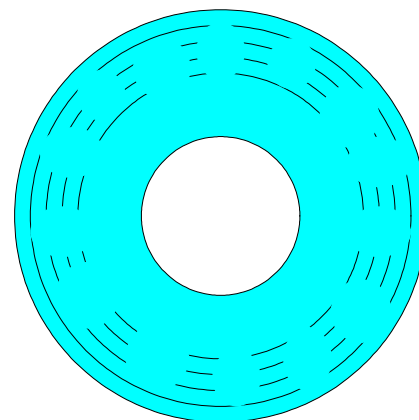
- 卷紧对策

通过锥度张力控制，防止卷紧现象发生。

卷紧



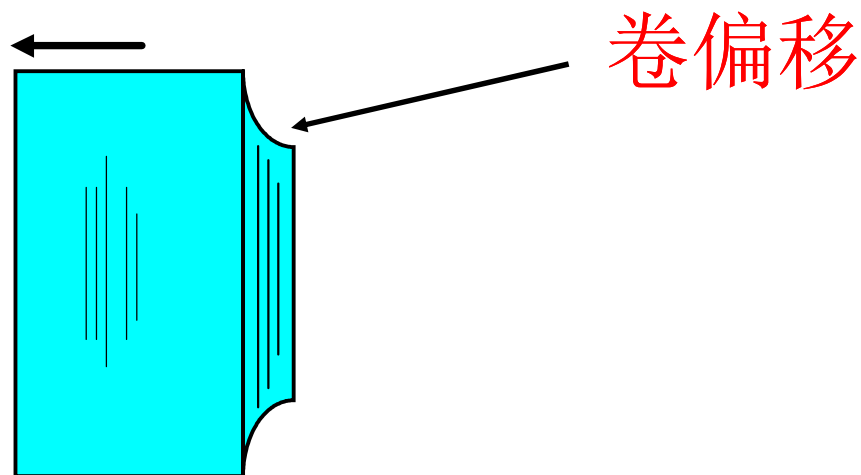
正常



# 恒定扭矩引起的问题

- 卷偏移（竹笋形、望远镜形）

层间压缩力过小，层间含有许多空气层，导致卷松弛现象，而发生卷偏移。



胶片偏向一侧。



# 张力控制方式引起的差异

- 恒定张力控制 “张力控制器”  
放卷和中间轴 印刷、喷涂和裁切等  
成本：中 卷比 2~6
- 锥度张力控制 “张力控制器” + “卷径检测”  
收卷 最终工艺（后加工）  
成本：高 卷比 2~9
- 恒定扭矩控制 “手动电源”  
中间轴和收卷 剪切机的边部收卷  
成本：低 只收卷



# 4. 张力控制和速度控制

## 线控制篇

(速度控制和张力控制)

南通宏大机电制造有限公司



# 速度控制和张力控制

## ● 速度控制装置

- ◆ 通过速度反馈，来保持恒定
- ◆ 利用PLG（编码器）检测转速及线速度

通用变频器



## ● 张力控制装置

- ◆ 通过张力反馈，来保持恒定
- ◆ 利用张力检测器检测张力

张力控制器



# 传感器

- PLG（编码器）  
速度传感器



带PLG的三相电机

- 张力检测器  
张力传感器



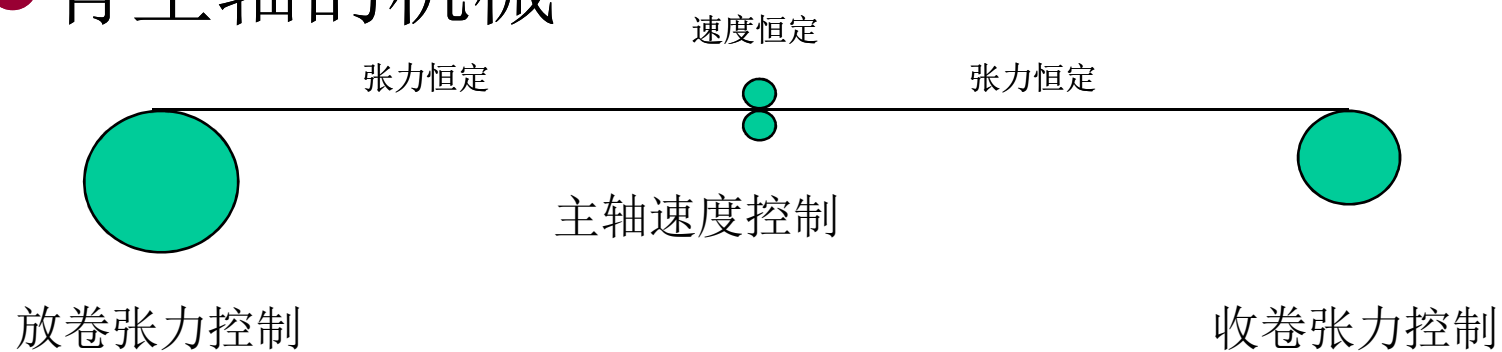


# 线控制

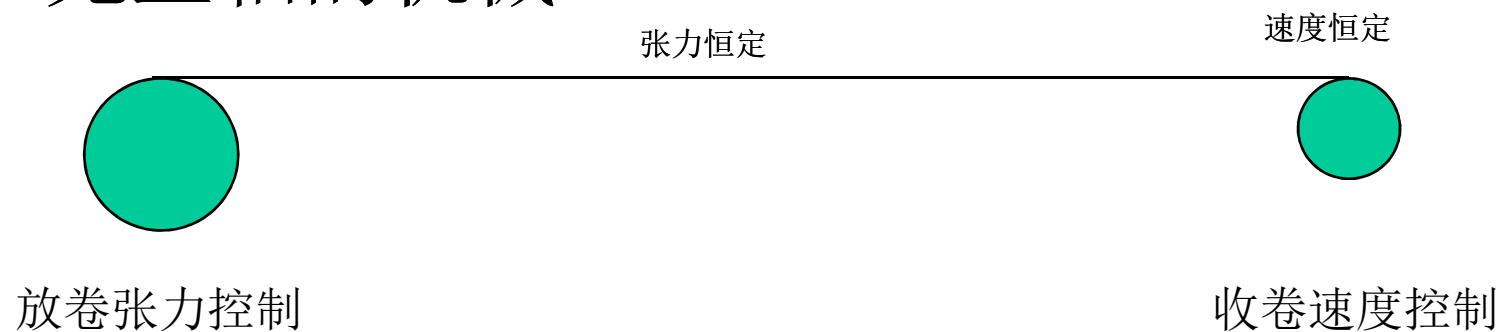
- 张力控制必须与速度控制配合进行
- 机械必须有主轴（主轴=速度基准）
  - ⇒ 通常夹辊连接电机
- 对有主轴的机械，对其主轴进行速度控制
- “ ” ，在放卷轴和收卷轴进行张力控制
- 无主轴的机械，在收卷轴进行速度（★1）控制
- “ ” ，在放卷轴进行张力（★2）控制  
（★1 {速度} 和★2 {张力} 可替换）

# 线控制

## ● 有主轴的机械



## ● 无主轴的机械



# 线控制 主轴的速度控制

- 速度由通用变频器+感应电机（三相电机）控制。



- 主轴由于没有卷径变化，卷径也比较小，因此电机容量较小。

$$P (W) = 0.105 \times N (r/min) \times T (Nm)$$



# 线控制 放卷 有主轴

## ● 放卷张力控制



放卷为“制动器控制”  
⇒ 扭矩控制



代表性执行机有：

- ① 磁粉制动器
- ② 矢量电机（再生）
- ③ AC伺服电机（再生）



# 线控制 收卷 有主轴

## ●收卷张力控制



收卷 “离合器控制”

⇒ 扭矩控制



代表性执行机有：

- ① 磁粉离合器
- ② 矢量电机（动力运转）
- ③ AC伺服电机（动力运转）



# 线控制 收卷 无主轴

## ●收卷 速度控制



收卷为“**转速控制**”

代表性执行机有：

- ① 通用变频器
- ② AC伺服电机



# 线控制 收卷 无主轴

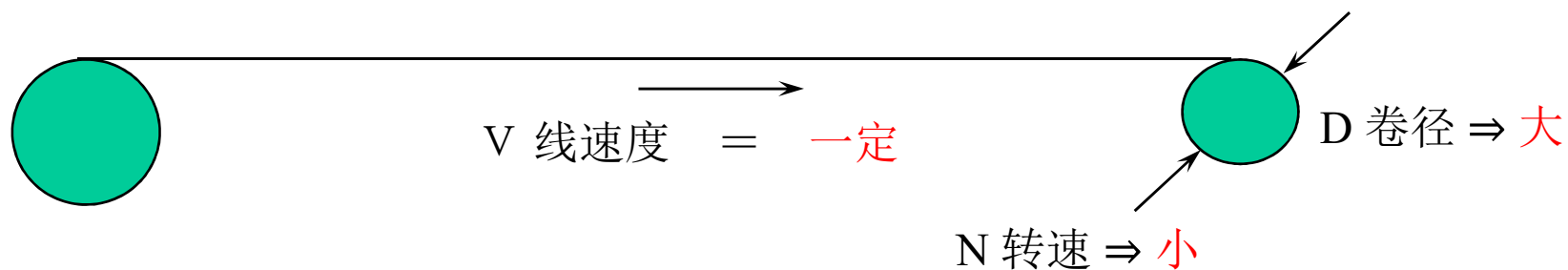
## ●收卷 速度控制

转速一定时，由于收卷轴变粗，所以  
线速度提高。

因此，为了确保线速度一定，随着收卷轴  
变粗，需要控制转速放慢。

PLC演算

$$N \text{ (r/min)} = V \text{ (m/min)} \div \{ \pi \times D \text{ (m)} \}$$

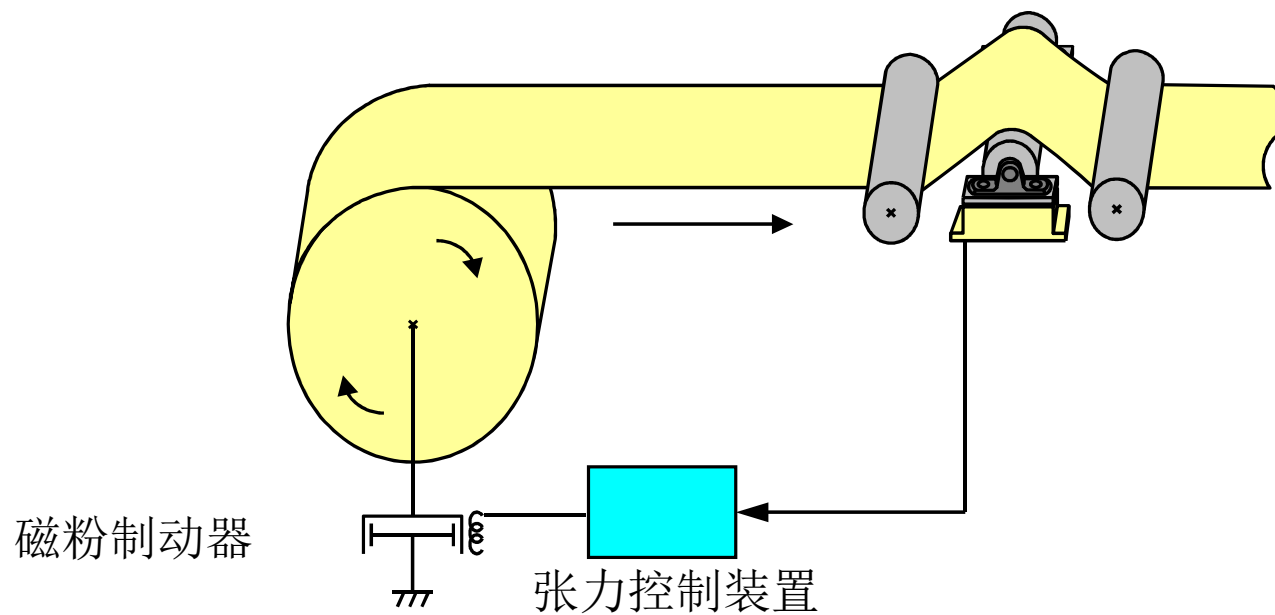


# 线控制 执行机

## ● 磁粉制动器

放卷：磁粉制动器

⇒ 最简单的结构（低成本）





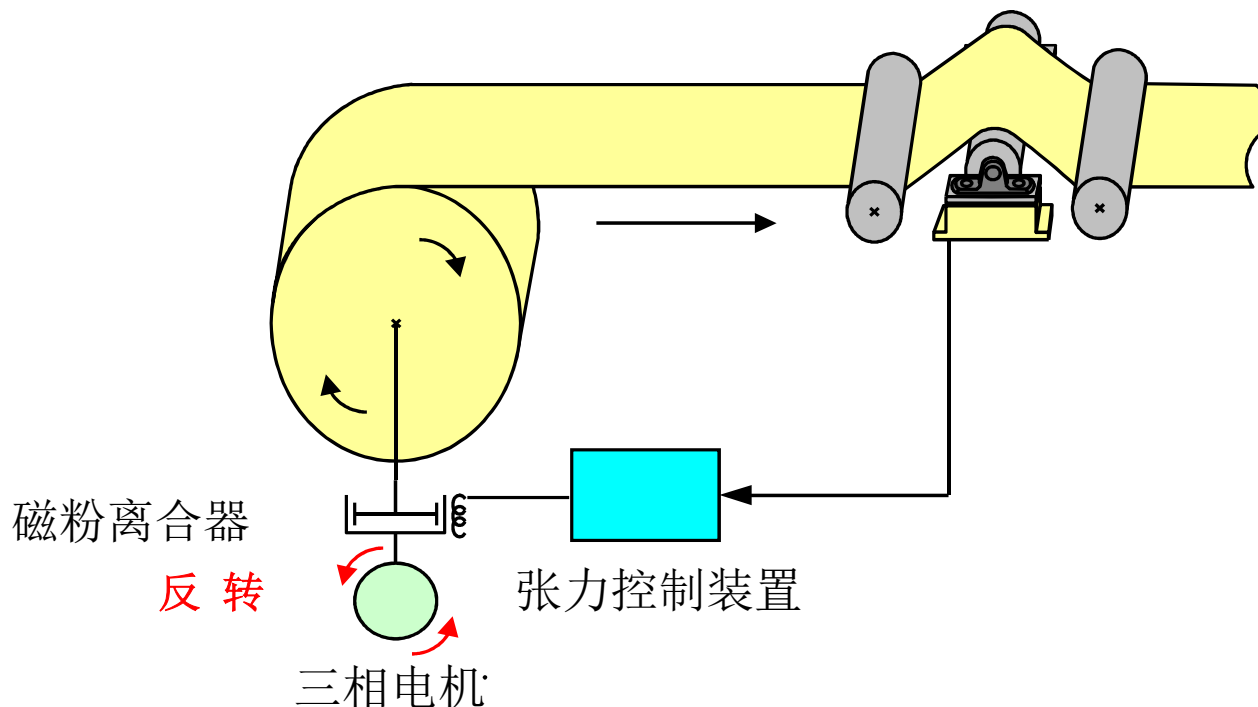
# 线控制 执行机

## ● 磁粉离合器

收卷：磁粉离合器 + 三相电机

放卷：磁粉离合器（逆转输入） + 三相电机

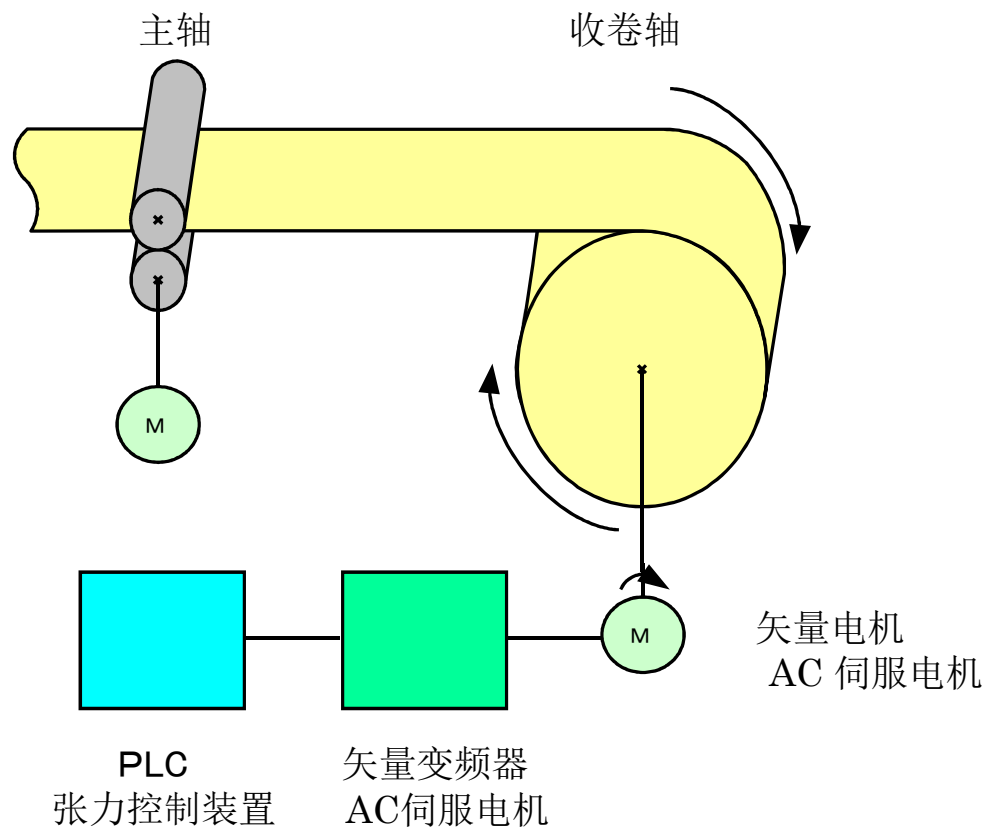
⇒ 超低速的线速度（反张力、停止）



# 线控制 执行机

## ● 变频器、AC伺服电机

收卷：矢量电机、AC伺服电机

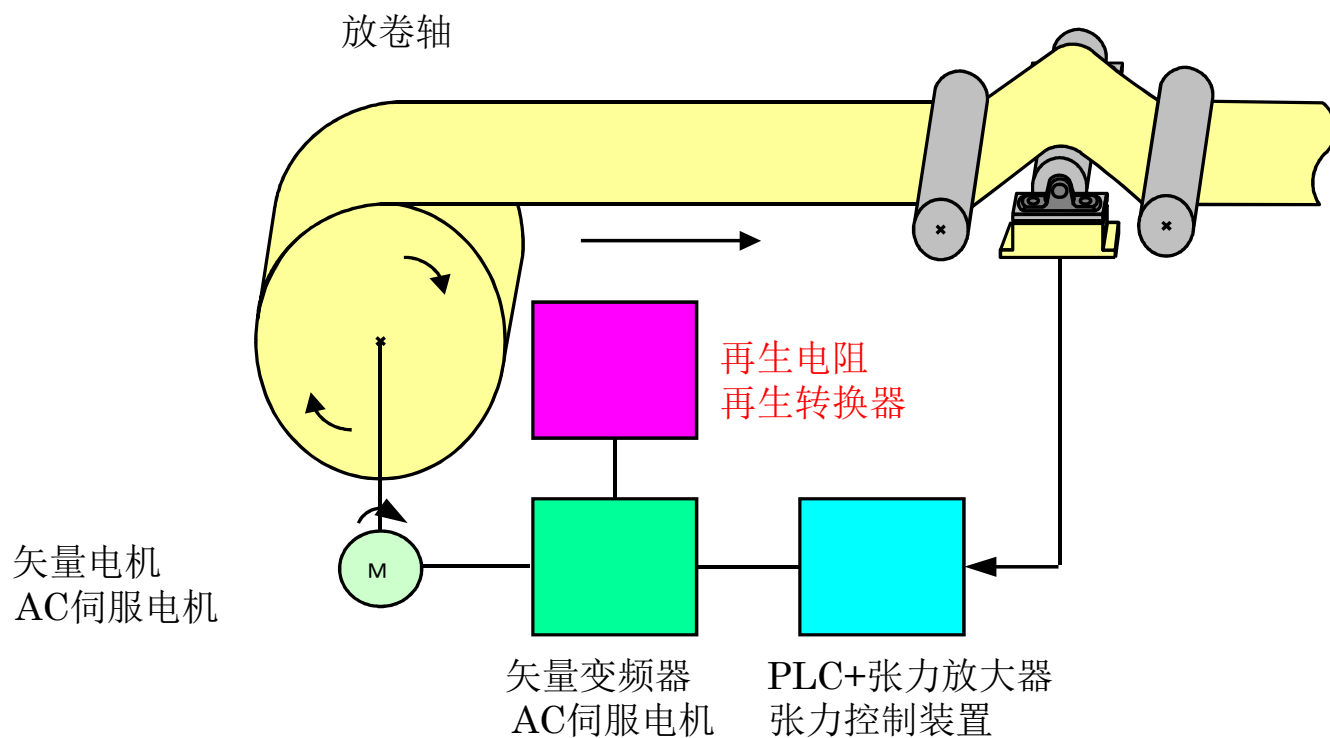


# 线控制 执行机

## ● 变频器、AC伺服电机

放卷：矢量电机、AC伺服电机

⇒ 再生选择 （大空间、高成本）



# 线控制 变频器

## ●变频器的种类

### 1) 通用变频器 · · · 速度控制

FR-S500、FR-E500、FR-A500、（FR-A700）

VS MINI J7、VS MINI V7（安川电机）

### 2) 专用变频器 · · · 风扇用 · 矢量控制

FR-F500 风扇用

FR-V500 矢量专用

FR-A700 通用或矢量（需FR-A7AP）

Varispeed F7、Varispeed G7 通用或矢量（安川）



# 线控制 转换器

- 通用变频器 . . . 速度控制、位置控制、（扭矩控制）

FR-S500、FR-E500、FR-A500、（FR-A700）

VF控制 . . .

磁通矢量控制 . . .

高级磁通矢量控制

- 2) 专用变频器 . . . 扭矩控制、位置控制、速度控制

FR-V500、FR-A700、Varispeed F7、Varispeed G7

无实时传感器的矢量控制

带PLG矢量控制

矢量控制



# 5. 磁粉控制和电机控制

	磁粉离合器和制动器	AC伺服电机	变频器			
			矢量变频器	带传感器矢量	无传感器矢量	磁通矢量
扭矩控制	○	○	○	○	○	×
速度控制	×	○	○	○	○	○
运行时扭矩控制范围	1: 100	1: 100	1: 50	1: 50	?	—
启动时扭矩控制范围	1: 100	1: 100	1: 20	1: 20	?	—
速度控制范围	—	50 ~ 2000 r/min	1.2 ~ 120 Hz	3 ~ 120 Hz	?	?

## ● 变频器控制

需要根据控制方法决定变频器的等级。卷轴控制时，一般需要选定**矢量变频器以上的等级**。

# 磁粉控制和电机控制

	磁粉离合器和制动器	AC伺服电机	变频器			
			矢量变频器	有传感器矢量	无传感器矢量	磁通矢量
扭矩控制	○	○	○	○	○	×
速度控制	×	○	○	○	○	○
运行时扭矩控制范围	1:100	1:100	1:50	1:50	?	—
启动时扭矩控制范围	1:100	1:100	1:20	1:20	?	—
速度控制范围	—	50~2000r/min	1.2~120Hz	3~120Hz	?	?

- 扭矩控制范围为：

只需计算（最大张力 / 最小张力）×（最大卷径 / 最小卷径），即可计算扭矩范围。

# 磁粉控制和电机控制

	磁粉离合器和制动器	AC伺服电机	变频器			
			矢量变频器	有传感器矢量	无传感器矢量	磁通矢量
扭矩控制	○	○	○	○	○	×
速度控制	×	○	○	○	○	○
运行时扭矩控制范围	1:100	1:100	1:50	1:50	?	—
启动时扭矩控制范围	1:100	1:100	1:20	1:20	?	—
速度控制范围	—	50~2000r/min	1.2~120Hz	3~120Hz	?	?

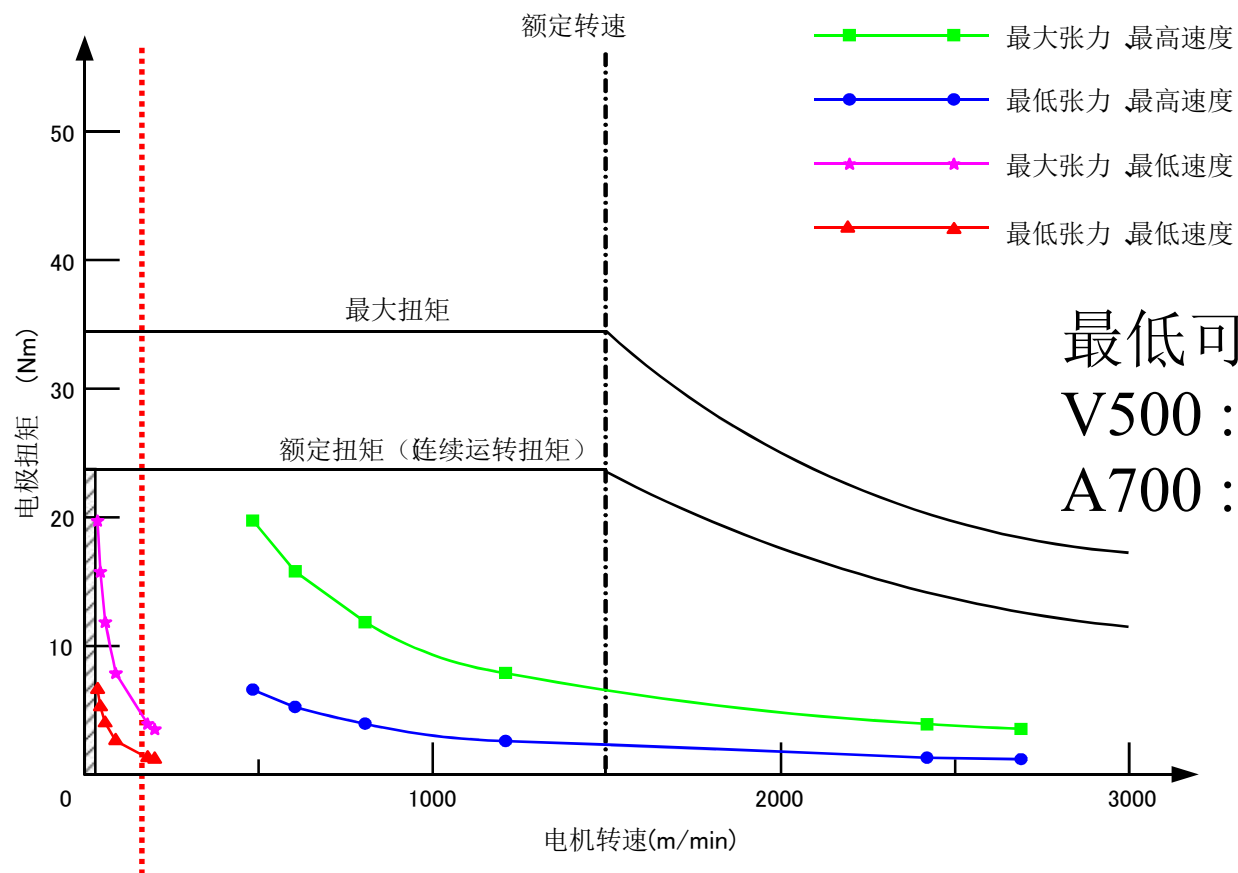
## ● 转速范围为：

只需计算（最大速度 / 最小速度）×（最大卷径 / 最小卷径），即可计算转速范围。但在扭矩控制时，需要尽量减小**齿轮比**。



# 变频器控制选定上的注意事项

## ● 转速控制范围是否合适？



最低可控制的转速为：

V500 : 1.2Hz

A700 : 3Hz

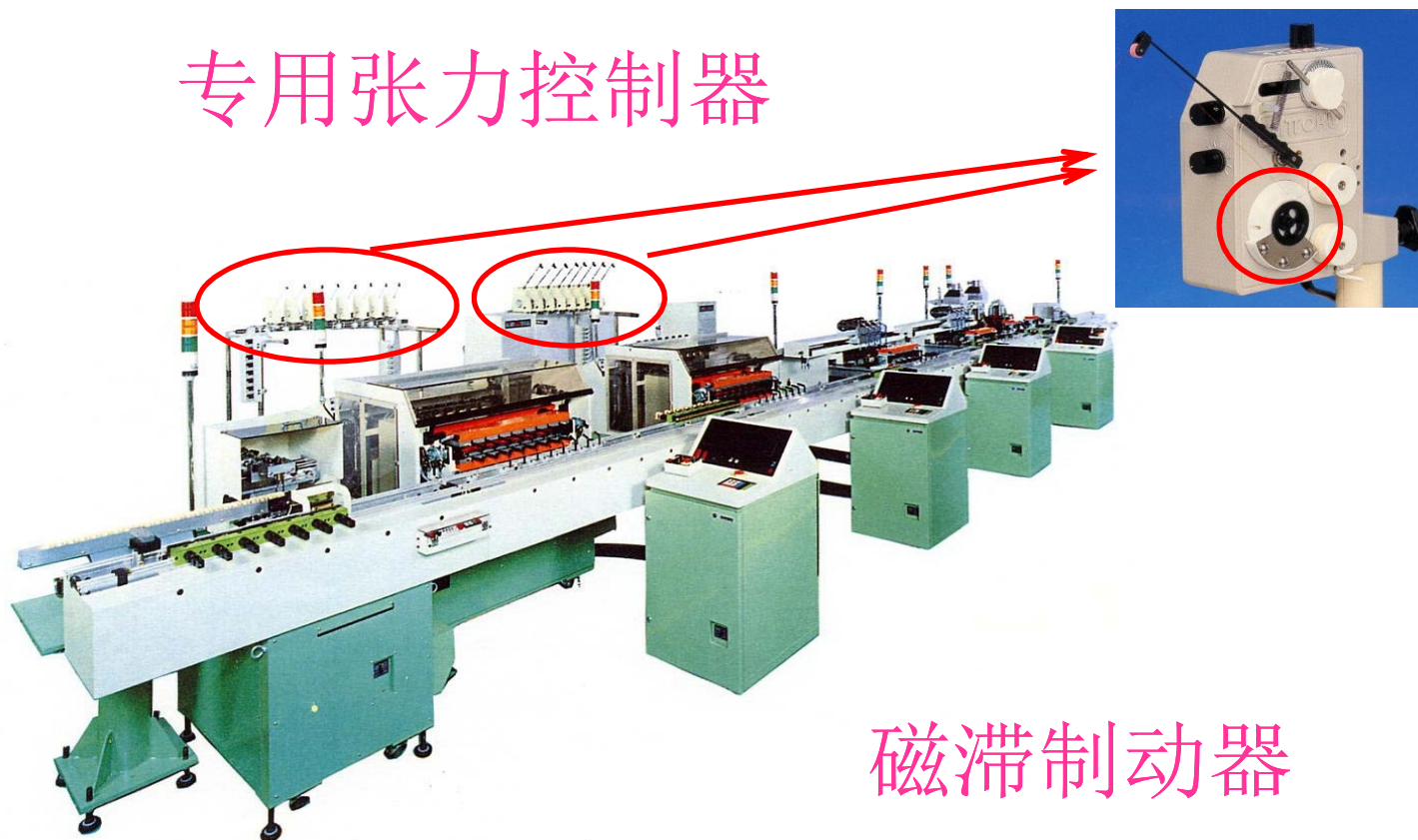
# 变频器控制注意事项

- 注意变频器的控制方法
- 选定合适的齿轮比
- 注意低转速区域的控制性
- 注意感应电机的扭矩特性
- 考虑再生容量
- 注意低扭矩指令时的启动特性

# 6. 绕线机

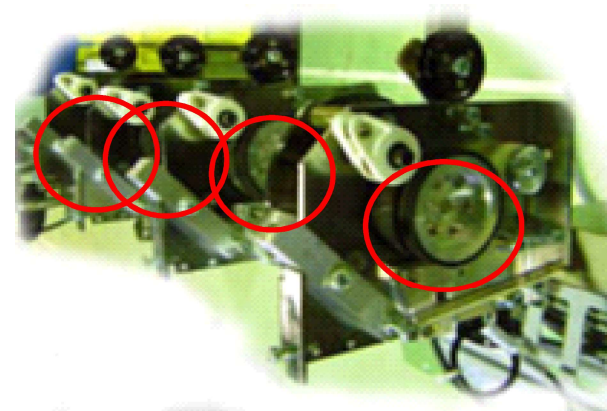
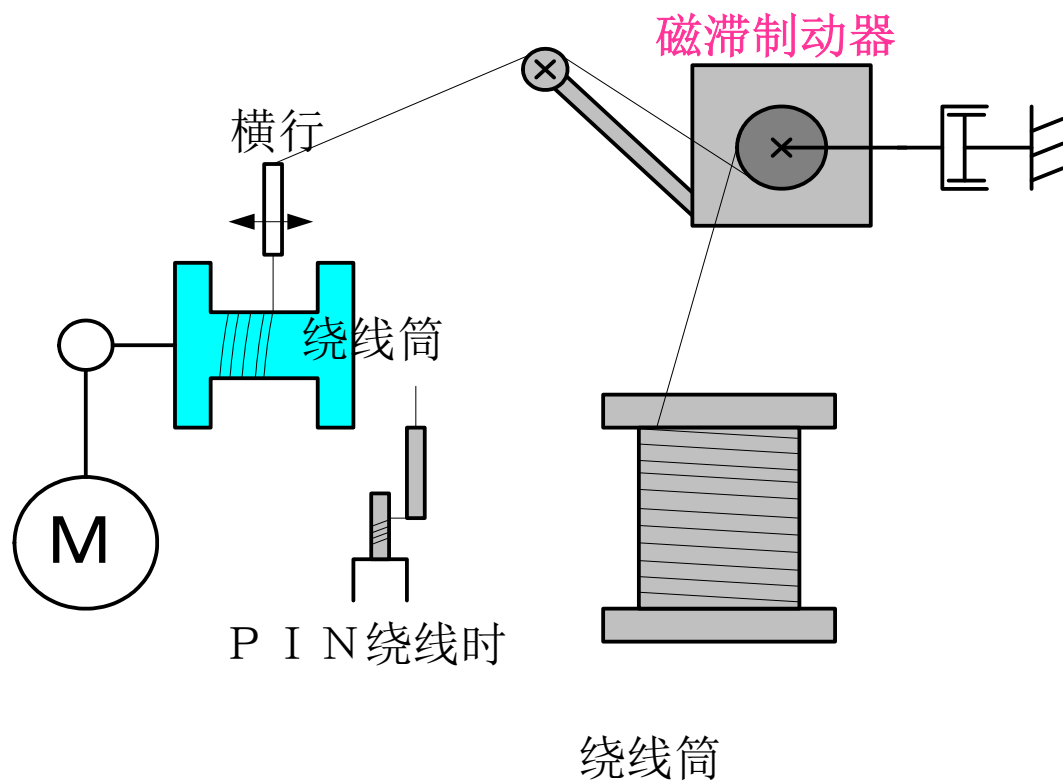
- 在绕线筒上卷线的设备

专用张力控制器



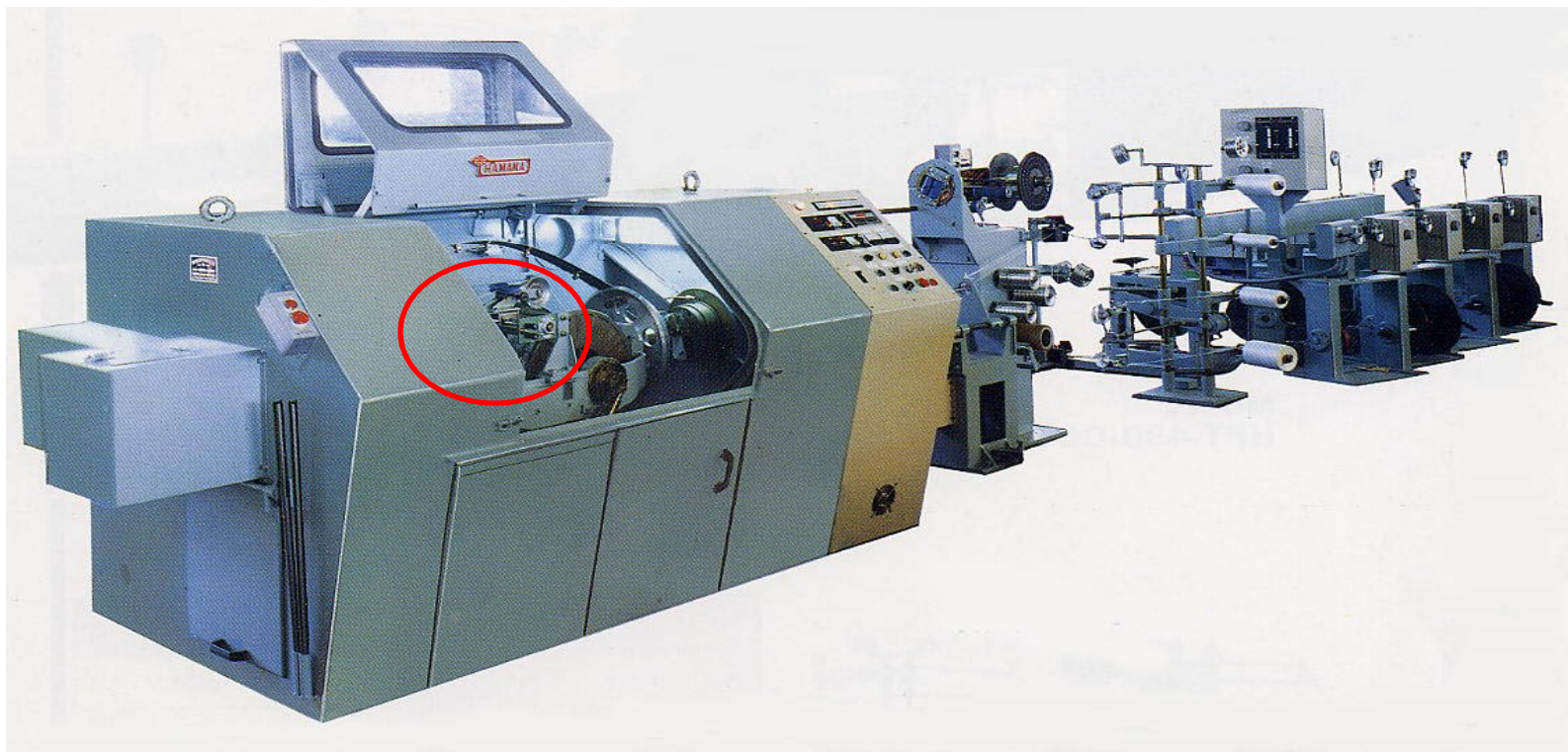
# 绕线机

## ● 绕线机的结构



# 捻线机

- 将复数以上芯线捻合在一起的设备



# 绕线机和捻线机的控制

- 材料：细、柔软、易断的 ⇒ 线材
- 传感器：特殊的结构
- 线速度：有加减速、速度较快
- 收卷：把线缠绕到绕线管
- 张力控制：厂家开发专用张力控制器  
⇒ 控制较难 需要专业技术
- 机械制造：专业绕线公司
- 与其选用三菱电机的张力控制器 不如选用其他公司的专用张力控制器



# 7. 裁切机



薄膜用裁切机  
Slitter for film



# 分切机



光学膜分切机  
Slitter for optical film





# 分切机的控制

- ① 收卷 / 放卷 都进行恒定张力控制
- ② 收卷 锥度控制 / 放卷 恒定张力控制

②比①好

②的结构复杂

★锥度控制的必要性 ⇒ 卷收紧、卷偏移

取决于 材料厚度、种类和最大卷径

★其他控制方法

摩擦辊

接触压辊



## 8. 收卷锥度控制

- 收卷时，卷径和扭矩的关系  
因锥度比率、最小直径和最大直径  
不同而变化

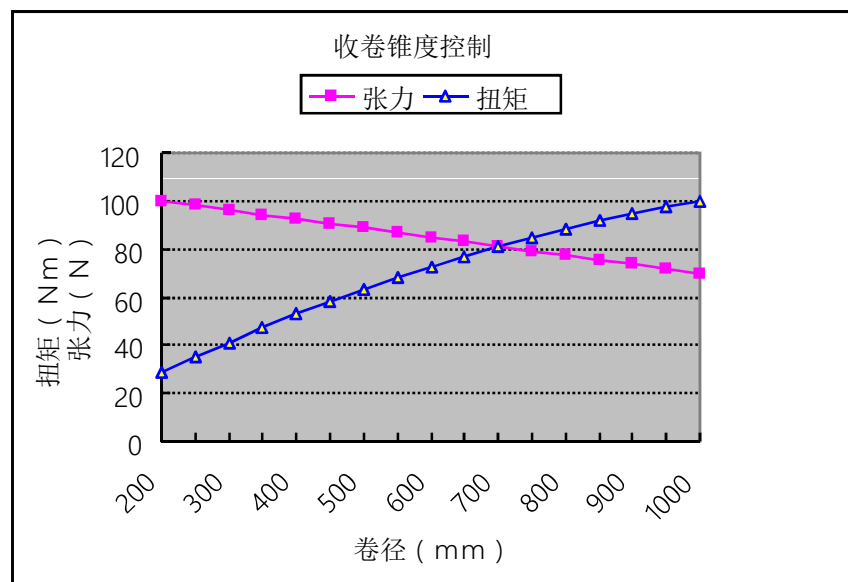
扭矩为二次方程式，其曲线为

- ① 向右方上升的曲线
- ② 上方凸出的曲线

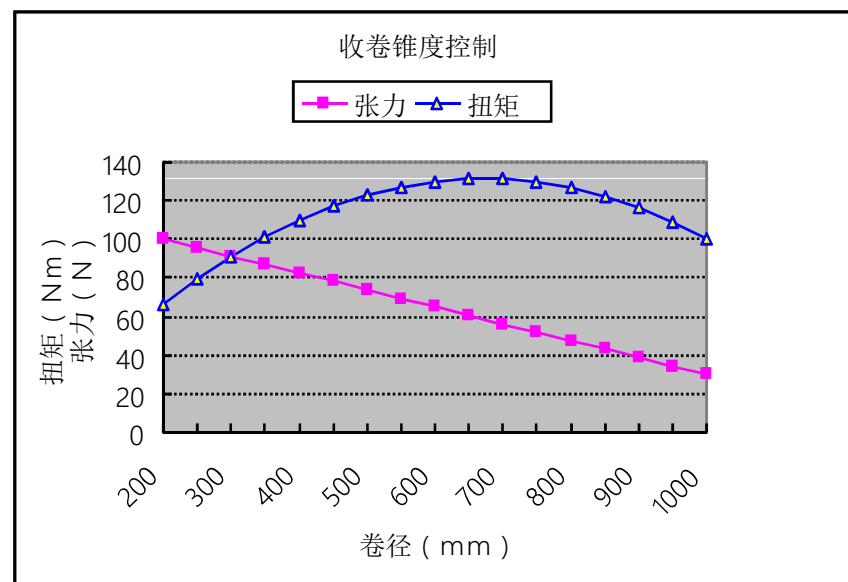


# 收卷锥度控制

## ● 收卷时的 扭矩 和 张力的关系



向右方上升



上方凸出



# 收卷锥度控制

- 收卷时

卷径和扭矩的关系为

二次方程式。

因此，在锥度控制中降低张力时，  
扭矩不一定也同样减小。



# 9. 检测器的选定

- 检测器的选定

① 辊载荷                      60%

② 张力载荷                    40%

    总载荷                      100%

在选定程序上

（辊+张力）载荷  $\leq$  额定的80%



# 检测器的选定

- 检测器的选定

在选定程序上

载荷  $\leq$  额定的80% 的理由

对应张力的非平衡状态

- ① 张力在右端和左端不同时。
- ② 材料只在辊的单侧时。
- ③ EPC动作时。



# 检测器的选定

- 结论

在选定程序上

**载荷 = 额定**

时，最好使用高一等级的检测器。

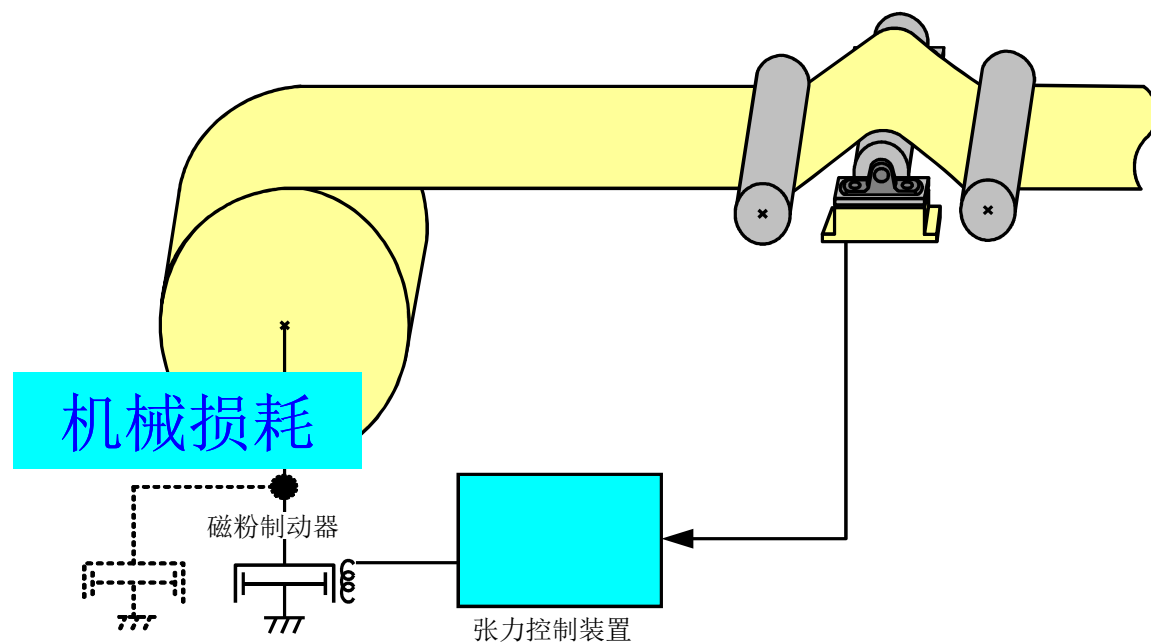
- 例外

厂家保证100%可以使用时



# 10. 实用系统的介绍

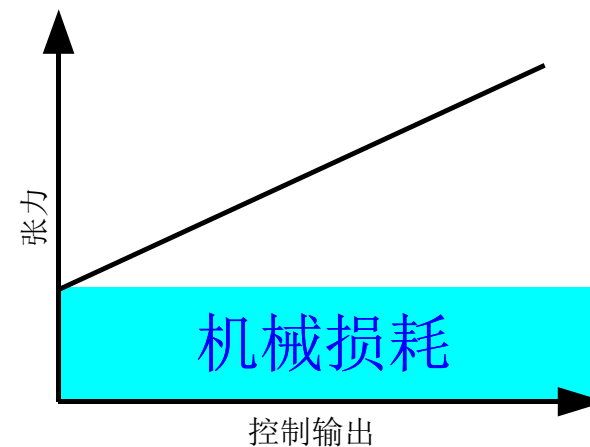
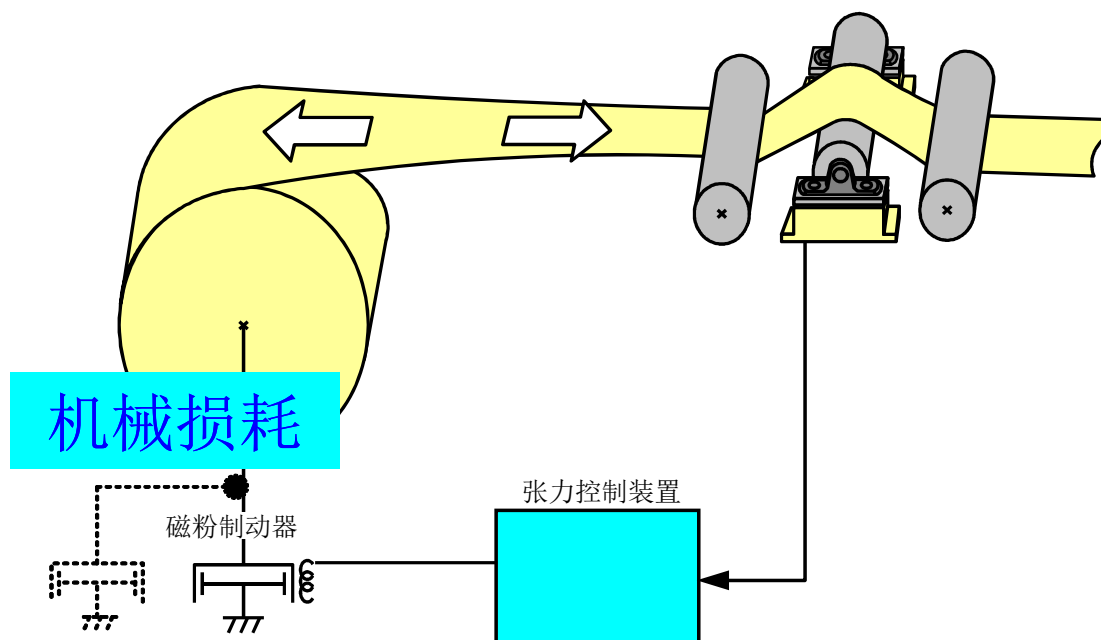
## ● 放卷控制的机械损耗抵消





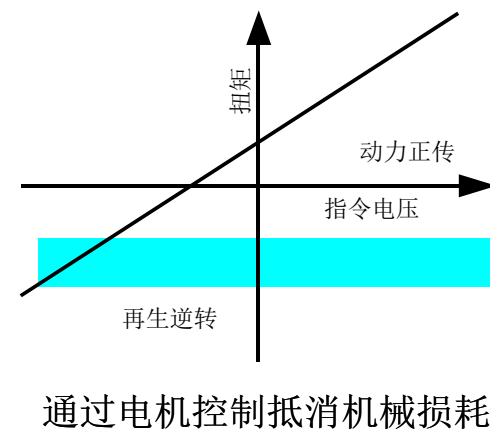
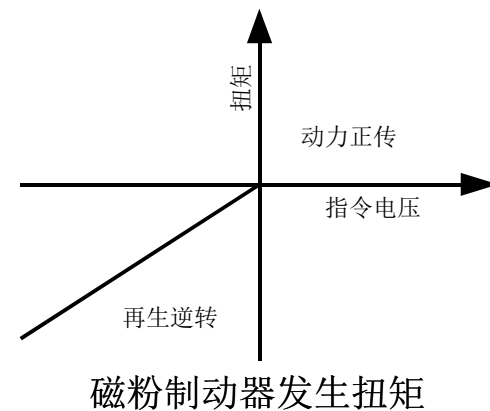
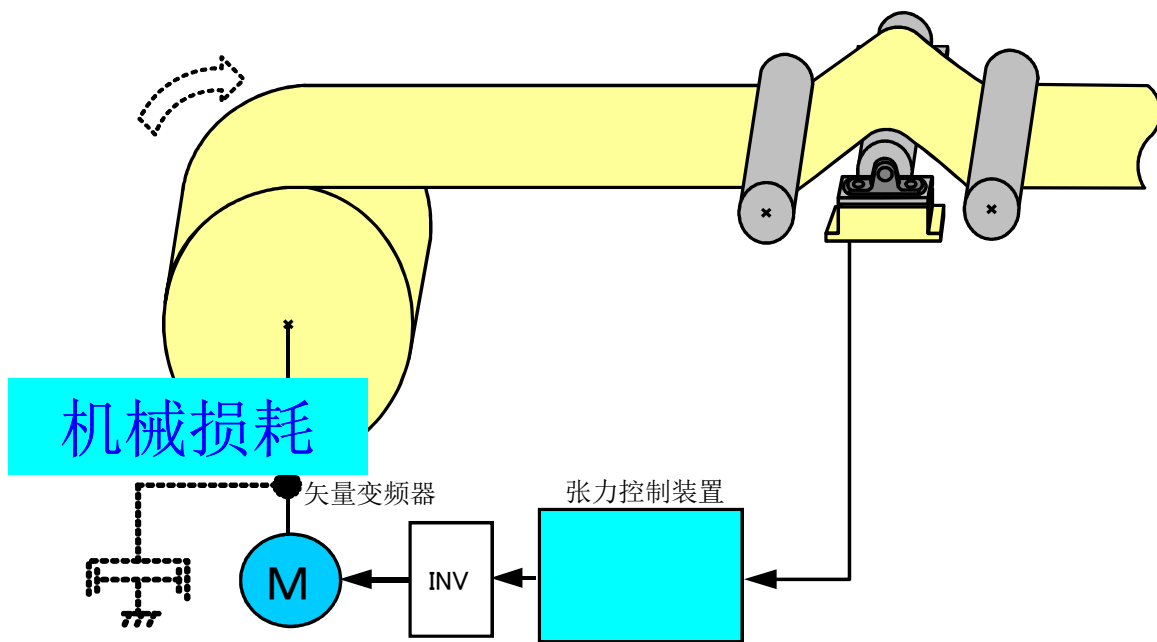
# 实用系统的介绍

## ● 放卷控制的机械损耗抵消



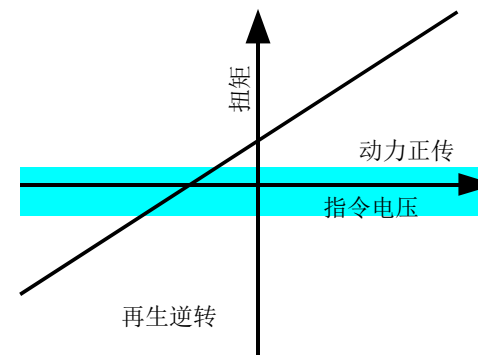
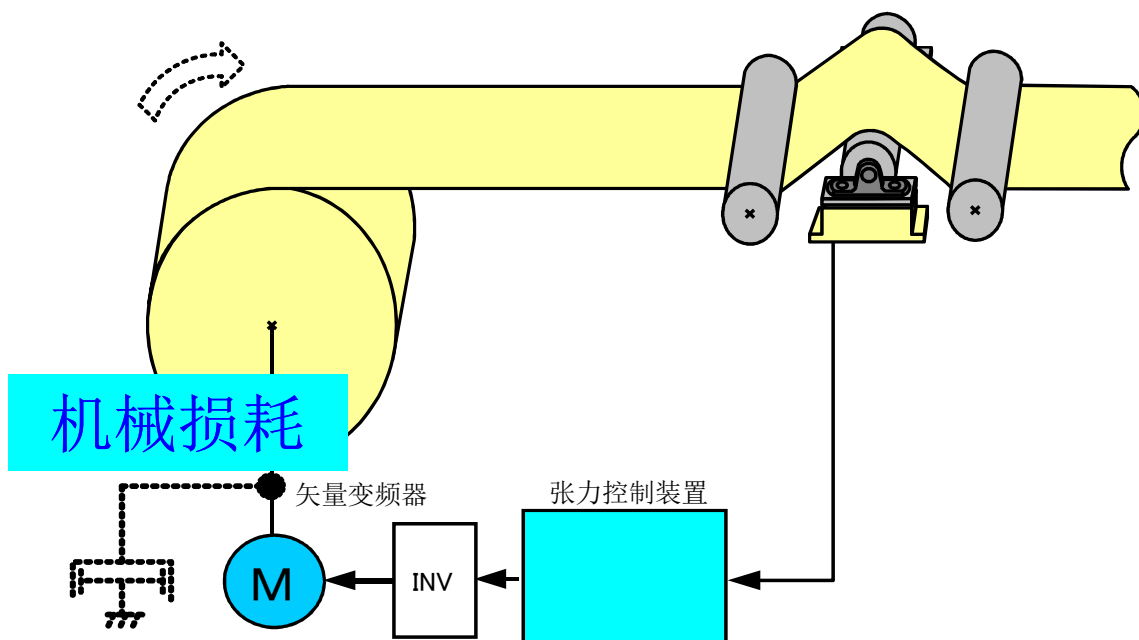
# 实用系统的介绍

## ● 放卷控制的机械损耗抵消

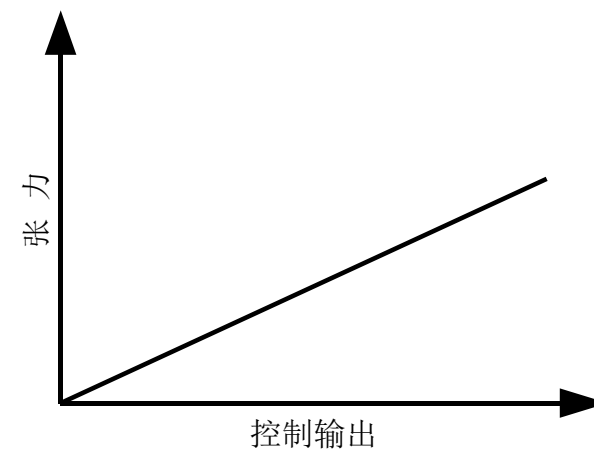


# 实用系统的介绍

## ● 放卷控制的机械损耗抵消



通过电机控制抵消机械损耗



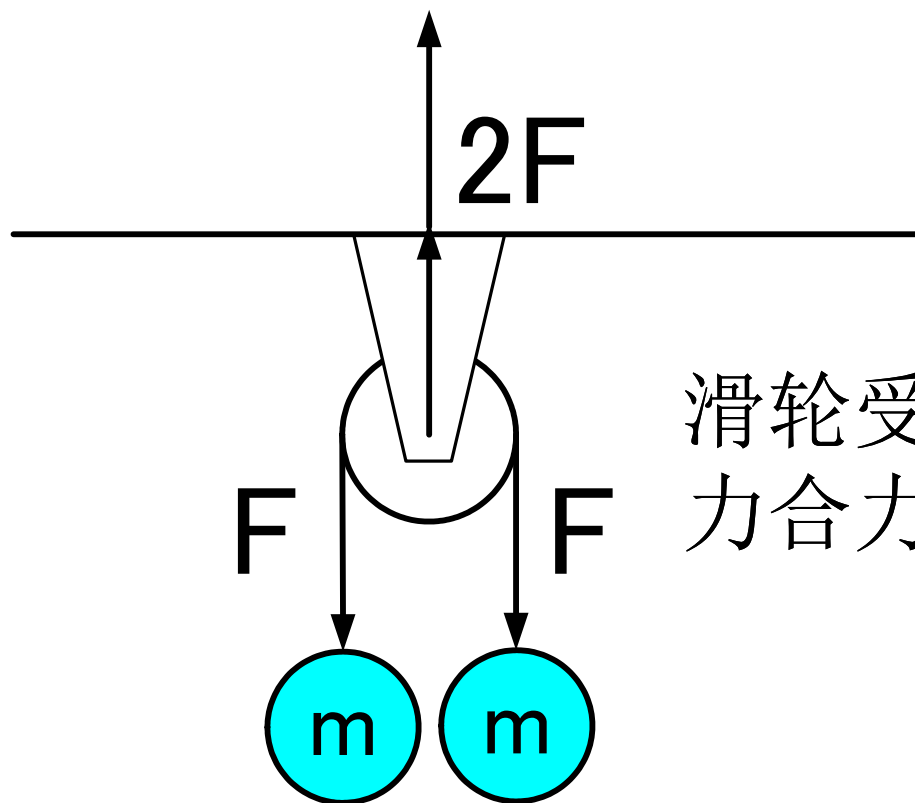
# 张力控制系统设计上的注意事项

- 所有现象都是物理理论的延续
  - ◆ 不要忘记摩擦！ → 大不兼小
  - ◆ 要记住作用和反作用的关系！  
→ 材料两端拉拔，则产生张力
  - ◆ 牛顿运动方程式对旋转体而言，也基本相同！  
→ 不要忘记惯性力矩 · · ·  
不施加扭矩，则转速不变



# 附录

- 作用与反作用

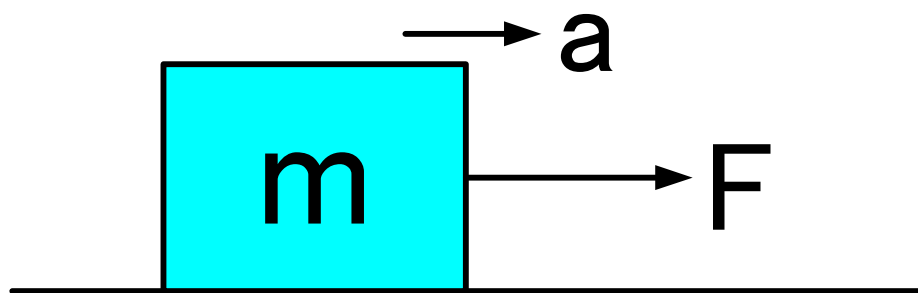


滑轮受到输入端和输出端张力合力的作用



# 附录

- 直线运动的运动方程式



牛顿运动方程式

$$F = ma$$

F: 力

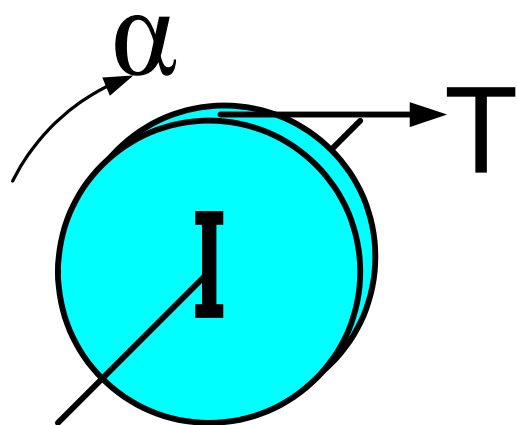
m: 质量

a: 加速度



# 附录

- 旋转体的运动方程式



旋转体的运动方程式

$$T = I\alpha$$

$T$  : 扭矩

$I$  : 惯性力矩

$\alpha$  : 角加速度





# 张力控制讲座

南通宏大机电制造有限公司

全文完

