

3. **压片** (mill sheeting) : 根据工艺要求, 在开炼机上把胶料压成一定的宽度和厚度的工艺过程。
4. **供胶**: 根据工艺要求, 在开炼机上把压成一定的宽度和厚度的胶料, 送到下一步工艺 (挤出、压延) 的工艺过程。
5. **热炼** (mill warm-up) : 根据工艺要求, 在开炼机上把胶料加工成一定的温度和可塑度, 并送到下一步工艺 (热喂料、压延) 的工艺过程。

一、用途

开炼机主要用于：

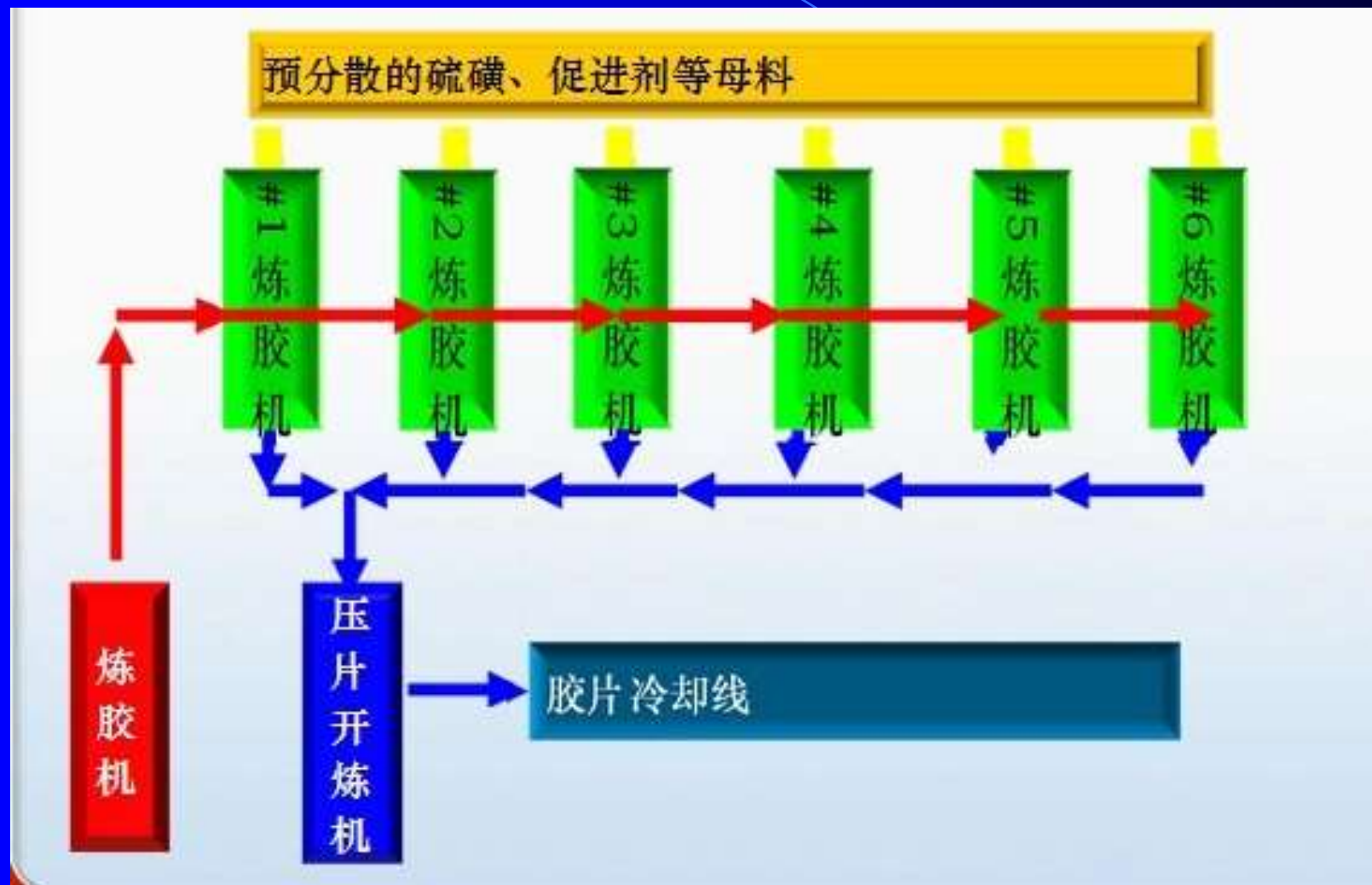
1. 生胶的塑炼、破碎、洗涤、压片；
2. 胶料的混炼、压片以及胶料中的杂质清除；
3. 混炼胶的热炼、供胶；
4. 再生胶的粉碎、混炼、压片。

此外，它还广泛应用于塑料加工和油漆颜料工业生产中。

从目前来看，开炼机的用途还是很广泛的，现在在许多方面用密炼机可以代替，但开炼机仍有实际意义。

1. 在中、小型厂是必备的实用设备。因为密炼机的投资大，而且密炼机的用途不如开炼机的广泛。
2. 某些对热敏性强的混炼胶可避免早期硫化，而便于散热，必须用开炼机混炼。
3. 某些生产厂家混炼各种不同颜色的胶料，只用开炼机便于清洗。
4. 特殊用途橡胶，如丁腈加强胶。
5. 一次法炼胶（低温炼胶）。

低温一次法炼胶工艺



密炼机排出的胶料先进入0#炼胶单元，经过短时间的混炼，使胶料降温，成片，便于输送；然后，通过程序自动排队，输送到1-6#单元的其中一台，在这台单元上完成胶料冷却、混炼、加硫、精炼、排料到压片、开炼机出片，最后在胶料冷却线上实现冷却及叠片，完成一车胶料的混炼。在此过程中，胶料从密炼机排料后，无需经过停放等过程，只需经过开炼机即可完成终炼。采用多台加硫炼胶单元，通过各单元工作节拍与密炼机的配合，保证产能最大化。

二、类型

由于工艺用途不同，其结构也有差异，为满足工艺操作的要求，一般按其用途来分，如下表：

类型	混面形状	主要用途
混（塑）炼机	光滑	生胶塑炼、胶料混炼
压片机	光滑	压片、供胶
热炼机	光滑或沟纹	胶料预热、供胶
破胶机	沟纹	破碎天然胶块
洗胶机	沟纹	除去生胶或废胶中的杂质
粉碎机	沟纹	废胶块的破碎
精炼机	腰鼓形	除去再生胶中的硬杂质
再生胶混炼机	光滑	再生胶粉的捏炼
烟胶片压片机	沟纹	烟胶片压片
绉片压片机	光滑或沟纹	绉片压片
实验用炼胶机	光滑	各种小量胶料实验

混（塑）炼机(Mill)



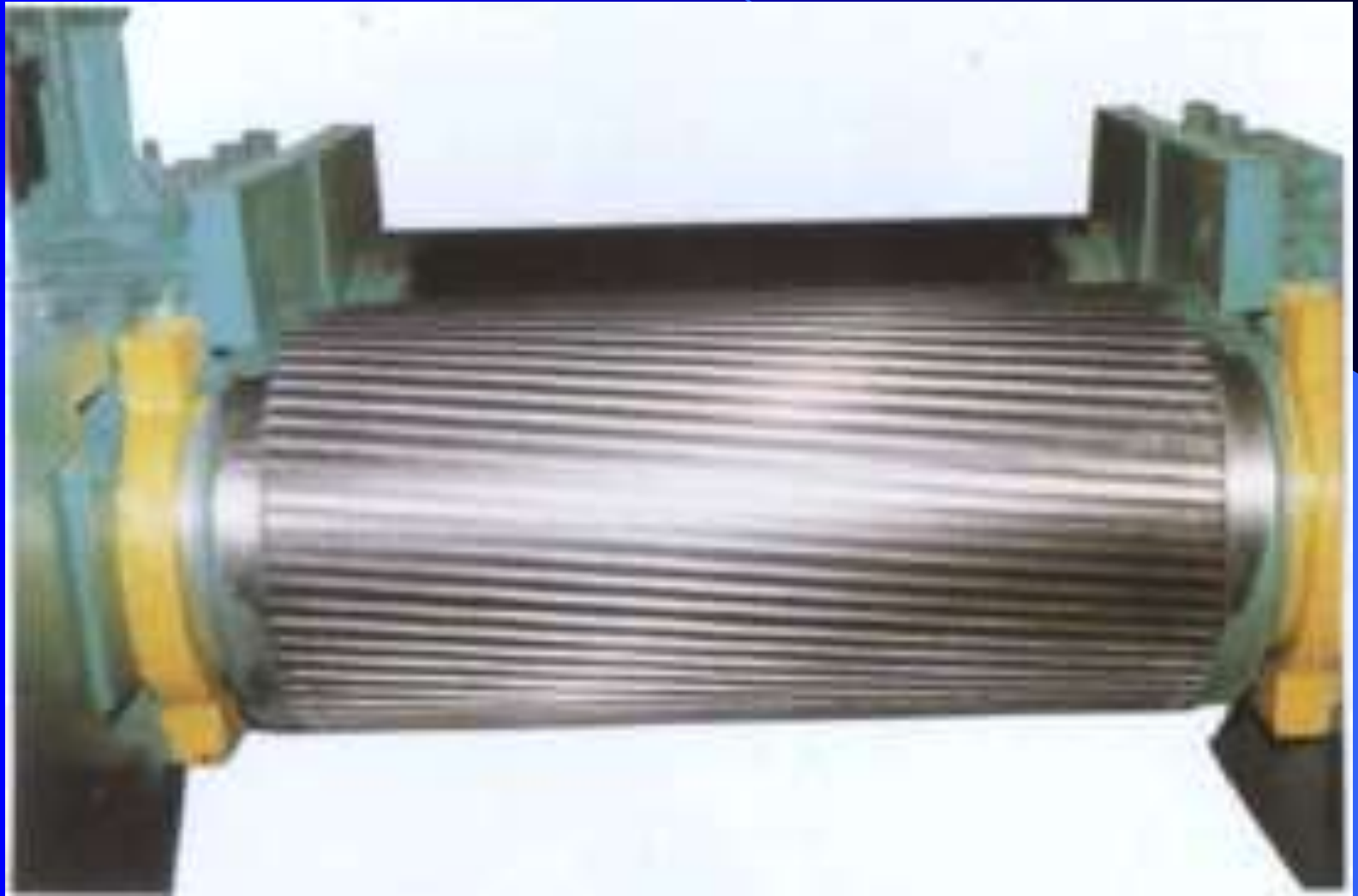
压片机 (Tablet press)



大功率开放式热炼机 (Hot mill)



破胶机 (Rubber Crusher)



精炼机 (Refiner)



实验室全自动开炼机（德国朗盛）

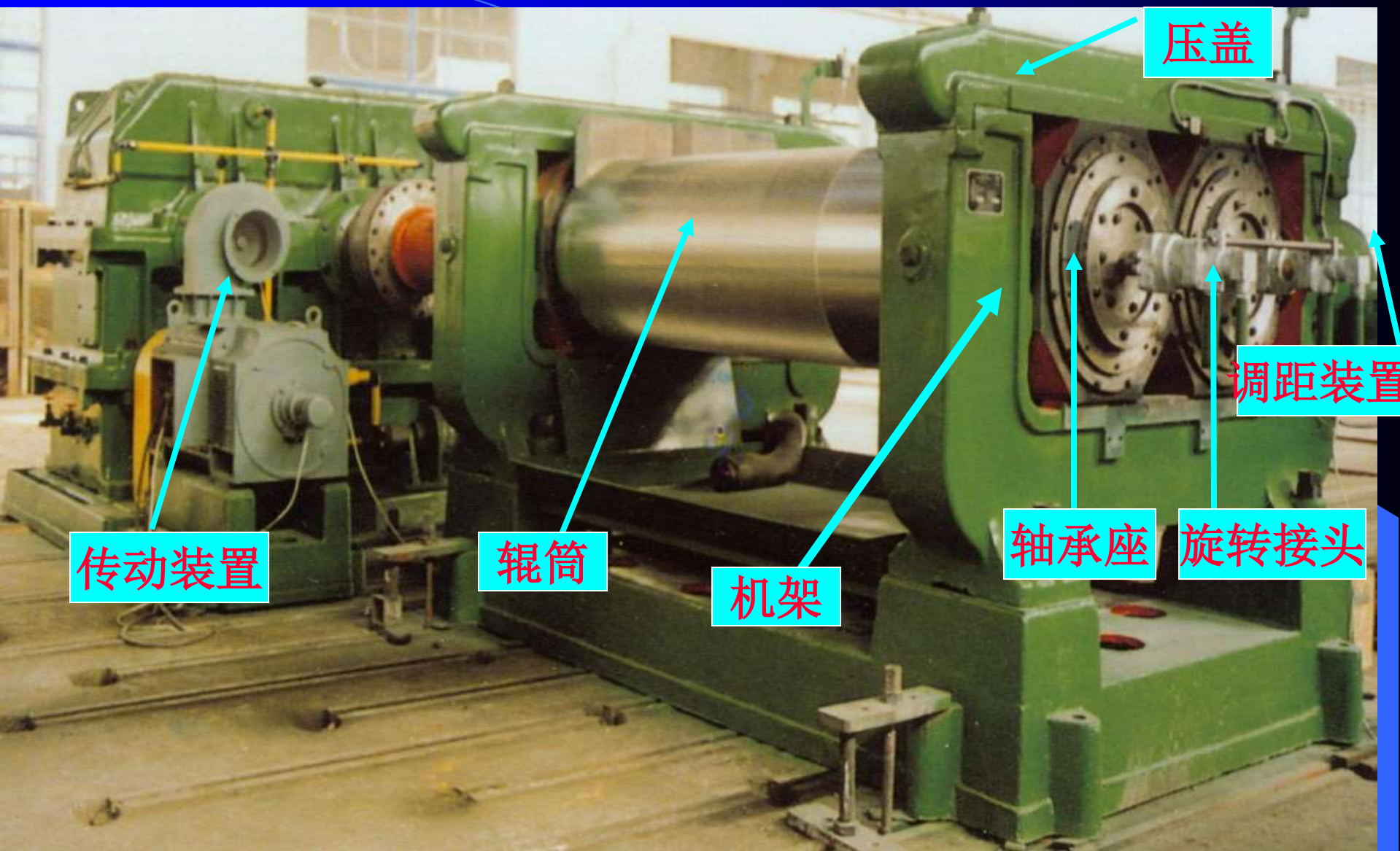


§ 2—3 开炼机基本结构

——Main

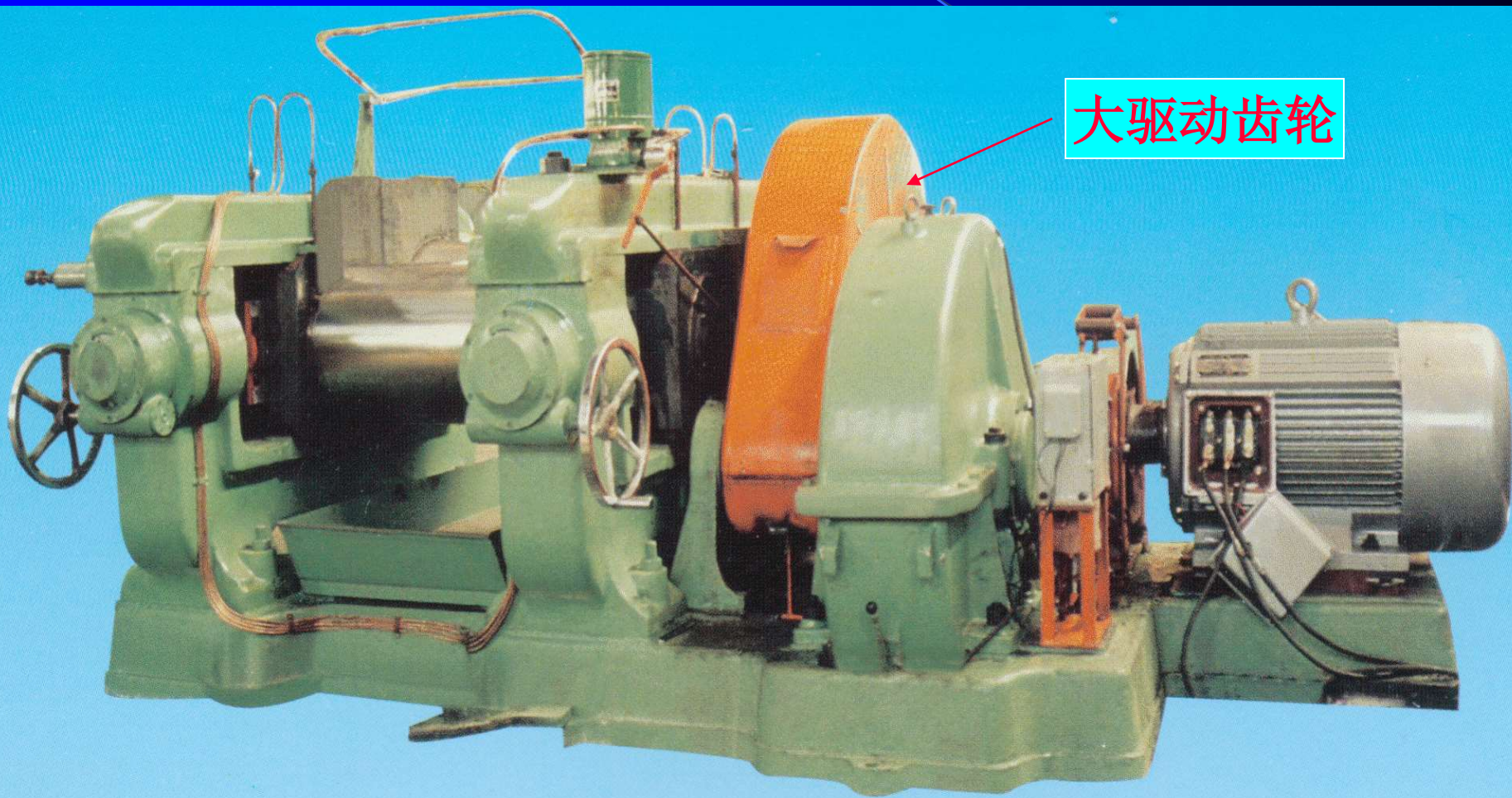
Composition of mill

开炼机主要由辊筒、轴承、机架、压盖、传动装置、调距装置、润滑系统、辊温调节装置和紧急制动装置等组成（见下图）。开炼机虽然大小不同，但其基本结构都是大同小异的。

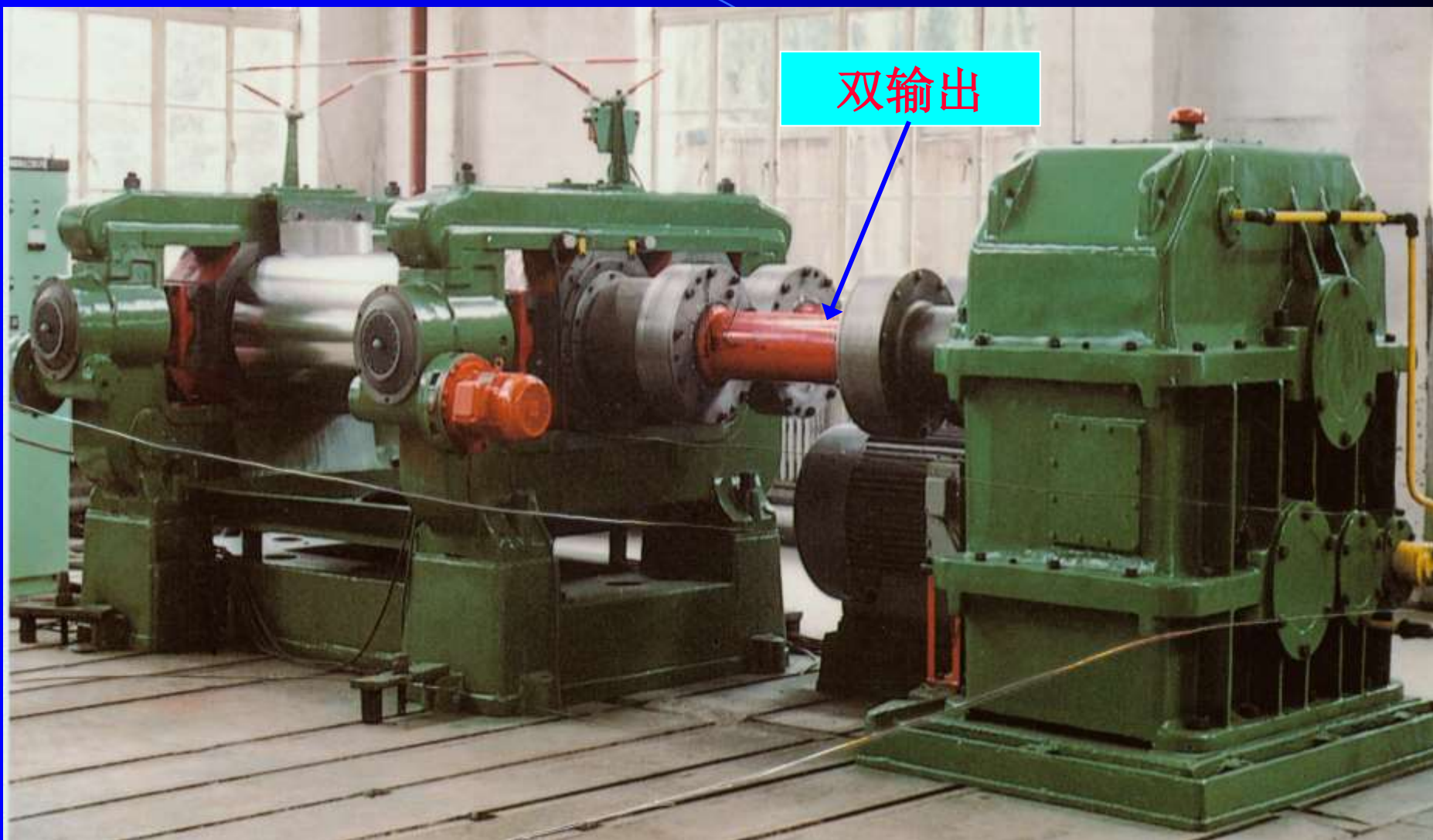


下面我们要了解几种不同结构的开炼机

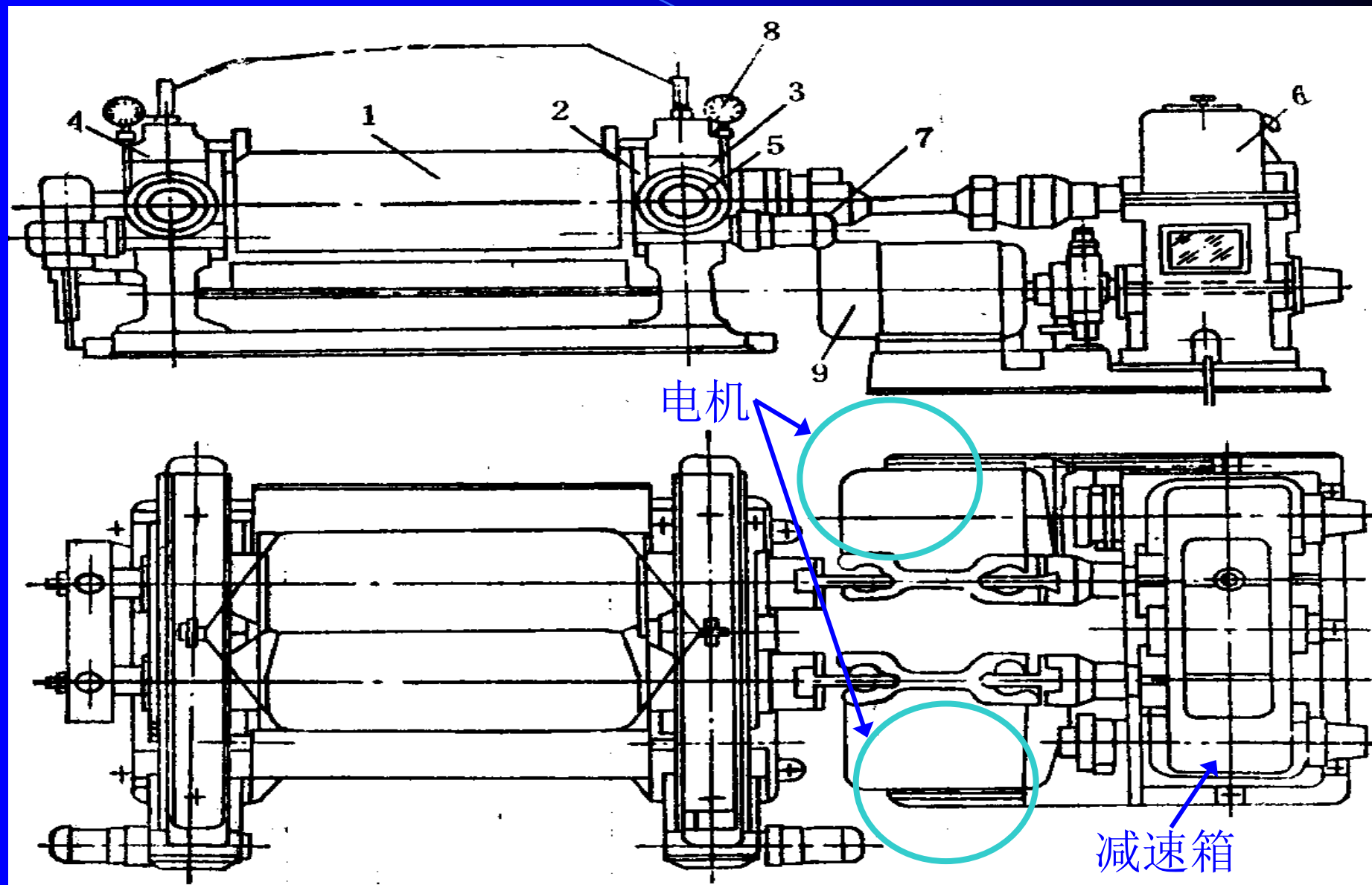
1.老式传动开炼机



2、新型传动式开炼机



3、双电机传动式开炼机



4、带翻胶装置开炼机





自动翻胶开炼机

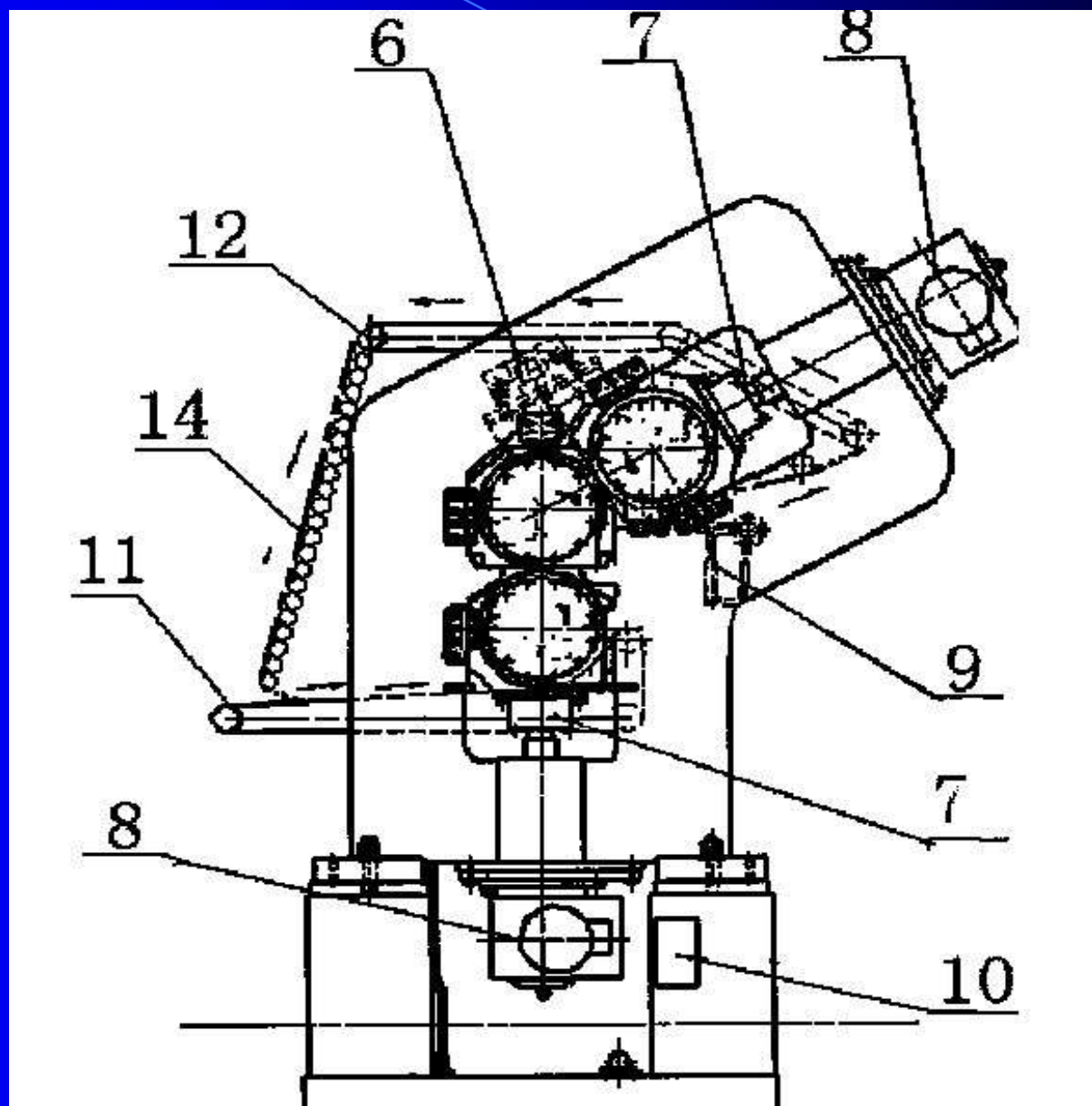


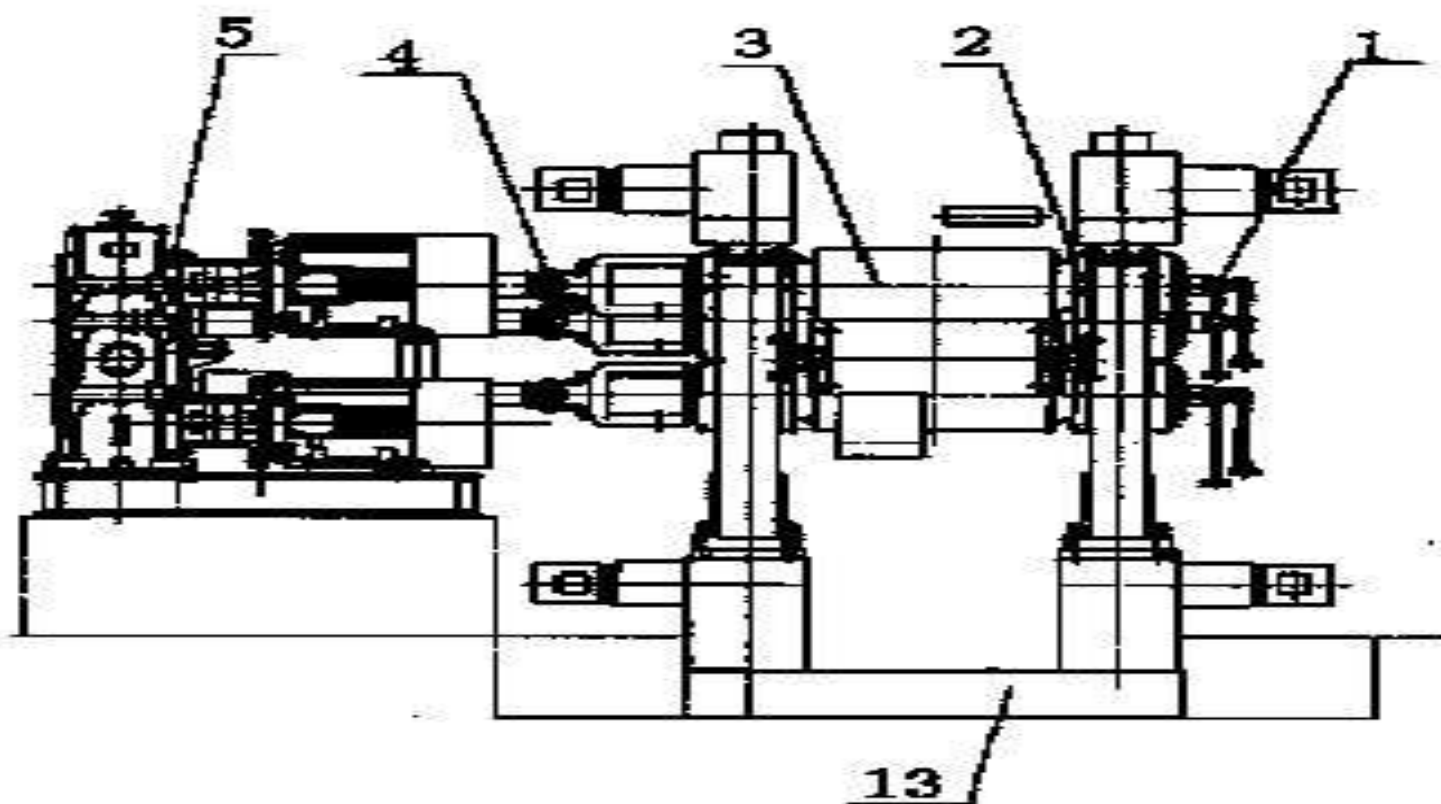
xk-550



xk-660

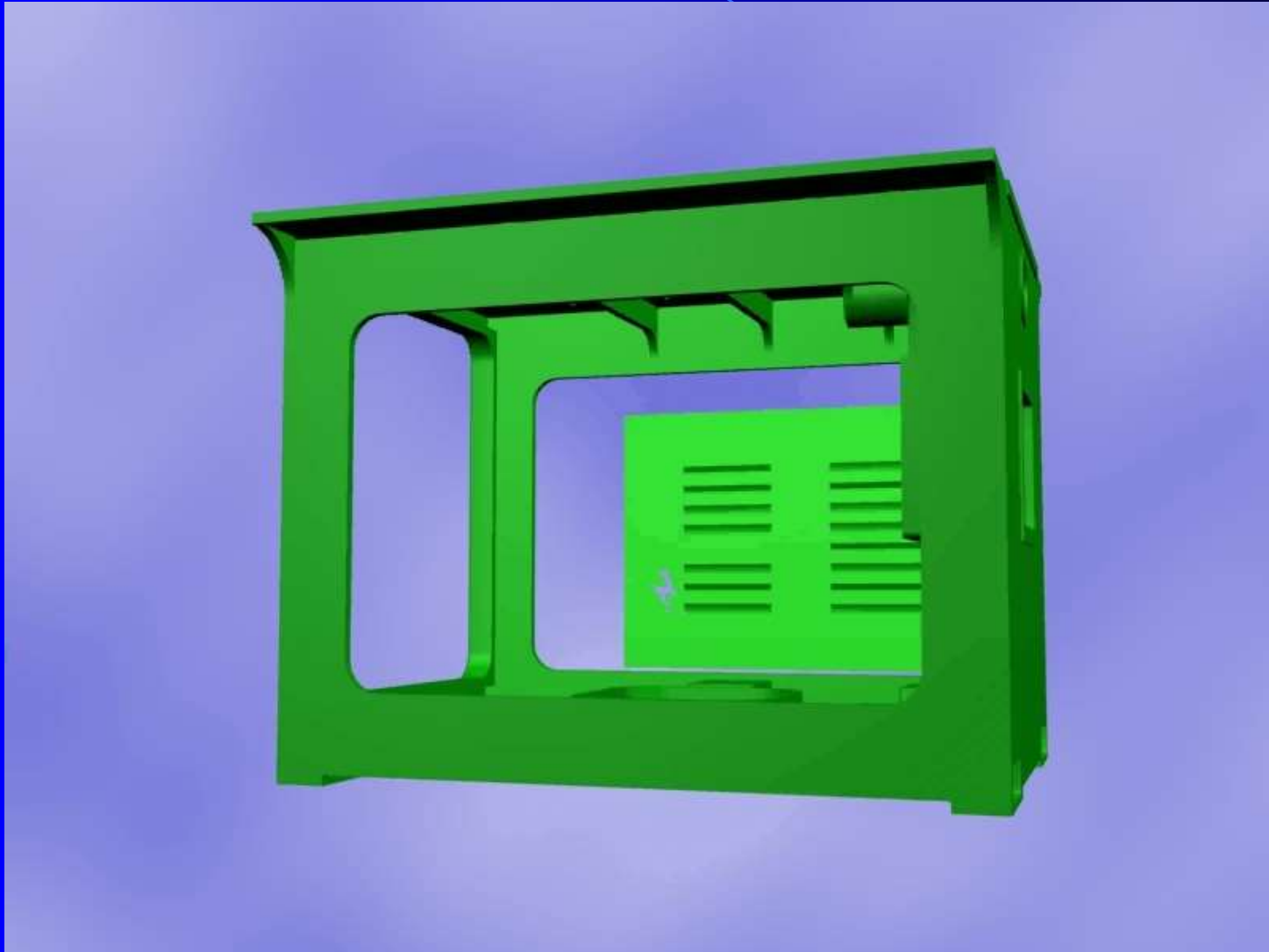
5. 三辊开炼机 ——大橡塑





[0020] 图中：1、辊温调节装置；2、机体；3、辊筒；4、万向联轴器；5、传动装置；6、挡料板；7、安全装置；8、调距装置；9、气动切刀装置；10、润滑系统；11、下输送带；12、上输送带；13、底座；14、导辊装置。

6. 下面是一个开炼机的三维动画



§ 2—4 开炼机的工作原理

1. 开炼机为什么能够把高弹性的生胶转变为具有可塑性状态的塑炼胶呢？
2. 如何把胶料与各种配合剂均匀混合在一起？

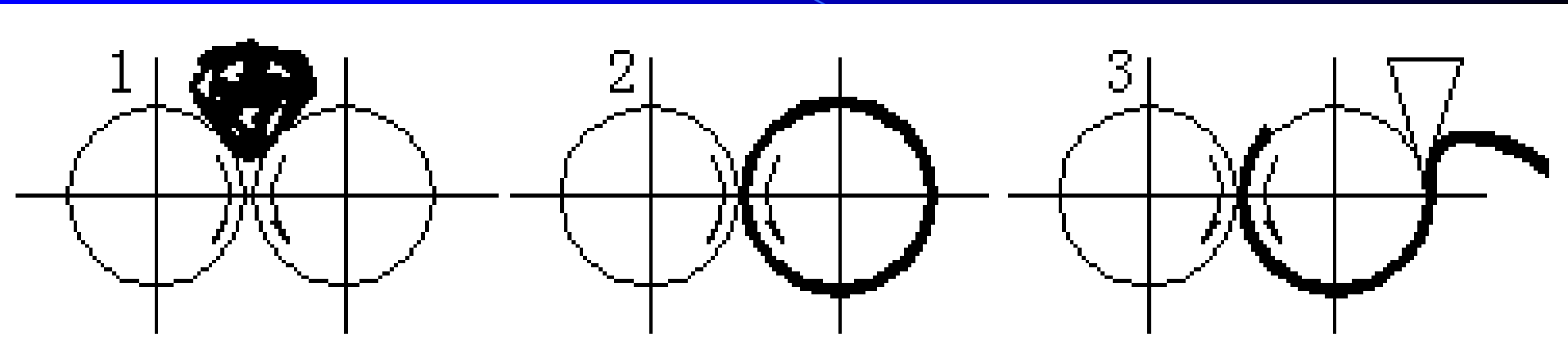
☆1. 用开炼机进行塑炼，主要就是通过两个相对回转的辊筒对胶料产生的剪切、挤压作用，使胶料原有的大分子链被打断，从而使得胶料原有的弹性降低，可塑度提高，有利于后面加工工序地进行。

目前实验室使用的塑炼方法主要是包辊塑炼法和薄通塑炼法。

☆2. 开炼机在炼胶过程中主要是依靠两个相对回转的辊筒对胶料产生挤压、剪切作用，经过多次捏炼，以及捏炼过程中伴随的化学作用，将橡胶内部的大分子链打断，使配方中的各种成分掺和均匀，而最后达到炼胶的目的。

从辊筒间隙中排出的胶片，由于两个辊筒表面速度和温度的差异而包覆在一个辊筒上，重新返回两辊间，这样多次往复，完成炼胶作用。

在塑炼时促使橡胶的分子链由长变短，弹性由大变小；在混炼时促使胶料各组分表面不断更新，均匀混合。在间歇操作的开炼机上，加料后胶料反复通过辊距数次，最后切割下片。如图所示。



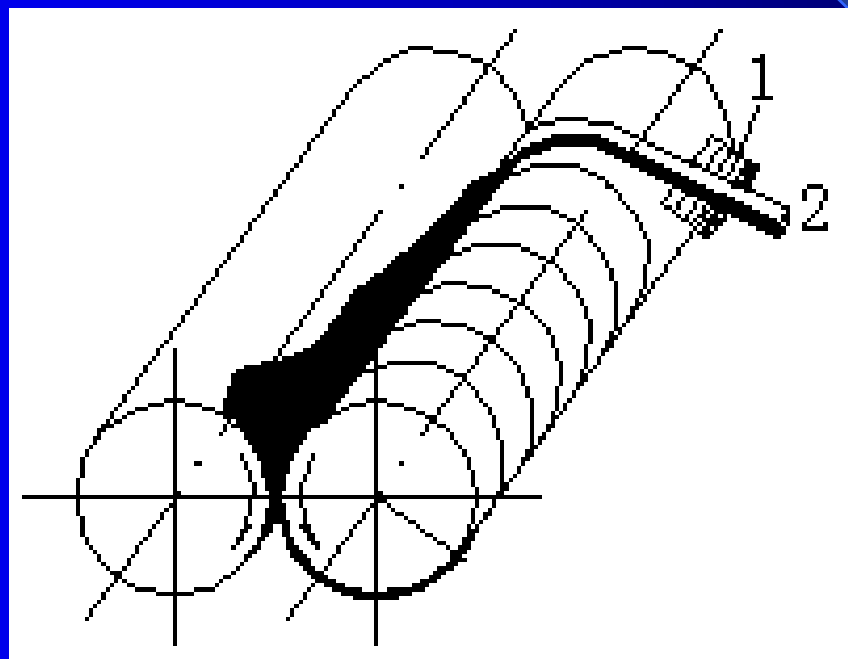
间歇炼胶过程图

1—加料-Feeding

2—捏炼-Refining squeeze

3—切割胶料-Cutting rubber chat

在用作连续操作的开炼机上，胶料从辊筒的一端连续地加入，按炼胶工艺规定的时间反复通过辊筒数次，从辊筒的另一端连续切割所要求的胶条。如图所示。



连续炼胶过程图

1—切胶刀 2—带状胶条

3. 胶料在开炼机上加工时，应具备哪些条件才能得到良好的炼胶效果呢？

我们将从两个方面进行讨论，即分别从力学角度和流变学角度加以讨论。

一、从力学角度来研究胶料进入辊距的条件

在炼胶操作时我们可以看到，当胶料包覆一个辊筒后两辊筒间还有一定数量的堆积胶，这些堆积胶不断被转动的辊筒带入辊隙中去，而新的堆积胶又不断形成。这些堆积胶对炼胶效果的影响是很大的。

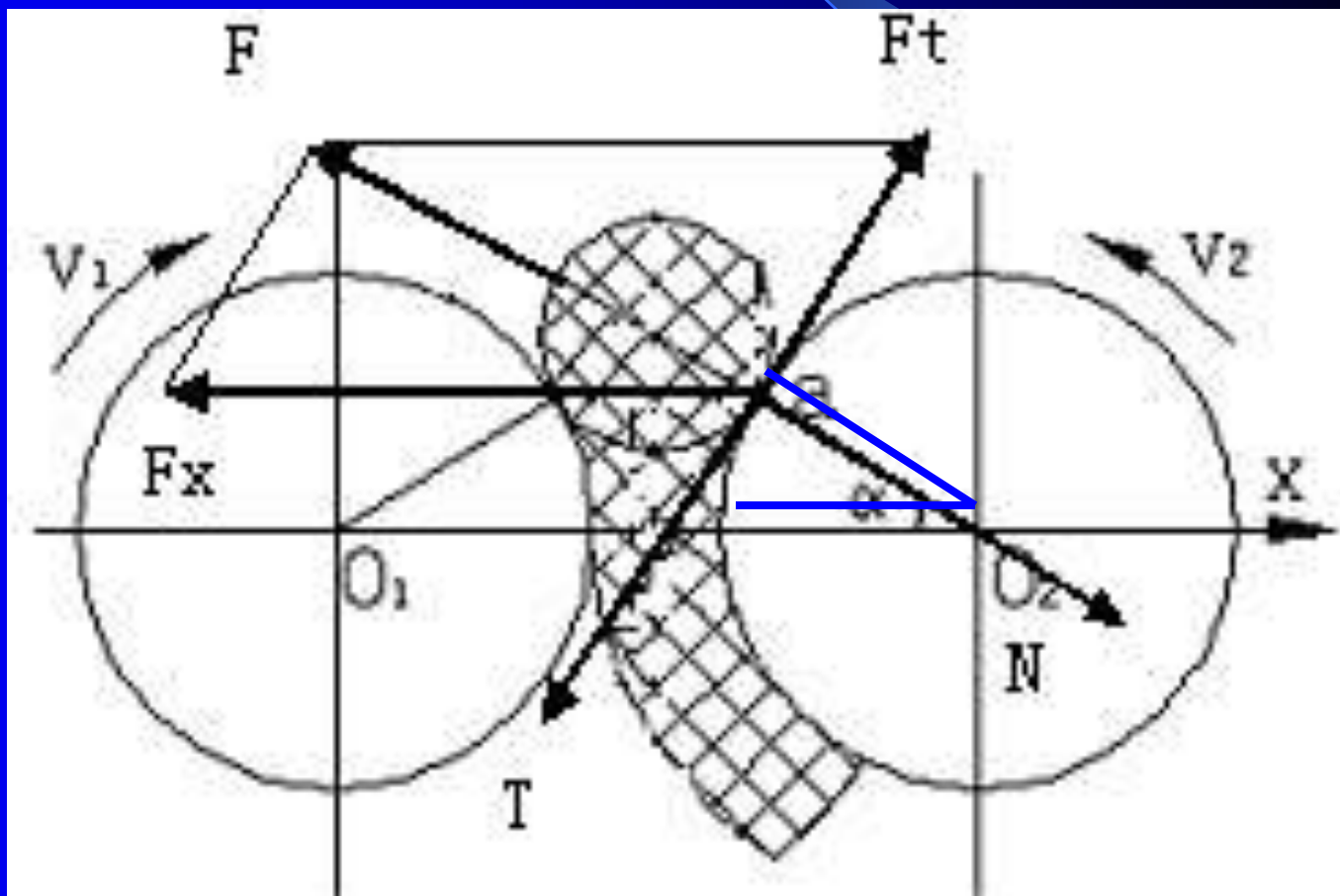
若堆积过多，过多的堆积胶便不能及时进入辊隙，只能原地轻轻抖动，此时炼胶效果显著下降。

若堆积胶过少，则不能形成稳定连续的操作。

可见，确定适量的堆积胶是必要的，为此就需要引入一个称之为**接触角**的概念。

所谓**接触角**，即胶料在辊筒上接触点a与辊筒断面圆心连线和辊筒断面中心线的水平线的夹角，以 α 表示。如图所示。

胶料能否进入辊隙，取决于胶料与辊筒的摩擦系数和接触角的大小。



以胶料为研究对象，以接触点a点作为边缘研究点，在炼胶过程中，胶料对辊筒产生径向作用力（合力）——即横向压力，用 P 表示，反过来，根据作用力与反作用力的关系，辊筒对胶料产生一个大小相等、方向相反的作用力——横压力的反作用力，用 F 表示。把这个力分解成一个水平作用力 F_x 和切向作用力 F_t 。

F_x 的作用：是对胶料产生挤压作用，并使其产生变形；

F_t 的作用：是把胶料推出辊距。

另外，胶料与辊筒之间在运动过程中产生摩擦作用，即有摩擦力存在，胶料对辊筒的摩擦力用 T' 表示，方向背离辊距。反过来，辊筒对胶料的摩擦力，用 T 表示，方向进入辊距，它的作用是把胶料拉入辊距。

若想胶料进入辊距进行炼胶，只有

$$T > Ft$$

T —为摩擦力，应为 $T = F \cdot \mu$ ， F 为正压力， μ 为摩擦系数； $\mu = \operatorname{tg} \phi$ ， ϕ 为摩擦角。

$$\therefore T = F \cdot \operatorname{tg} \phi$$

从图上可以看出，即从 $\triangle FtFA$ 得知

$$Ft = F \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad \alpha \text{ 为胶料接触角}$$

$$\text{又} \because T > Ft$$

$$\text{即有 } T = F \cdot \operatorname{tg} \phi > Ft = F \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{即 } \operatorname{tg} \phi > \operatorname{tg} \alpha$$

$$\therefore \text{有 } \phi > \alpha$$

从分析可知，只有当摩擦角 ϕ 大于接触角 α 时，胶料才能进入辊距。

只有这个条件满足时，才能保证正常炼胶。

橡胶或胶料与金属辊筒的摩擦角 ϕ 与胶料成分及其配方、可塑性、炼胶温度及辊筒表面形状等有关。

$\phi=38^{\circ}\sim 42^{\circ}$ ，生胶与金属辊筒摩擦角 $\phi=38^{\circ}41'$ ，炼胶过程中一般采用接触角 $\alpha=32^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，国内推荐采用 $\alpha=36^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。

图 2-17 压力与速度的分布

2、胶料剪切作用是怎样产生的？以及剪切力的大小与谁有关系？

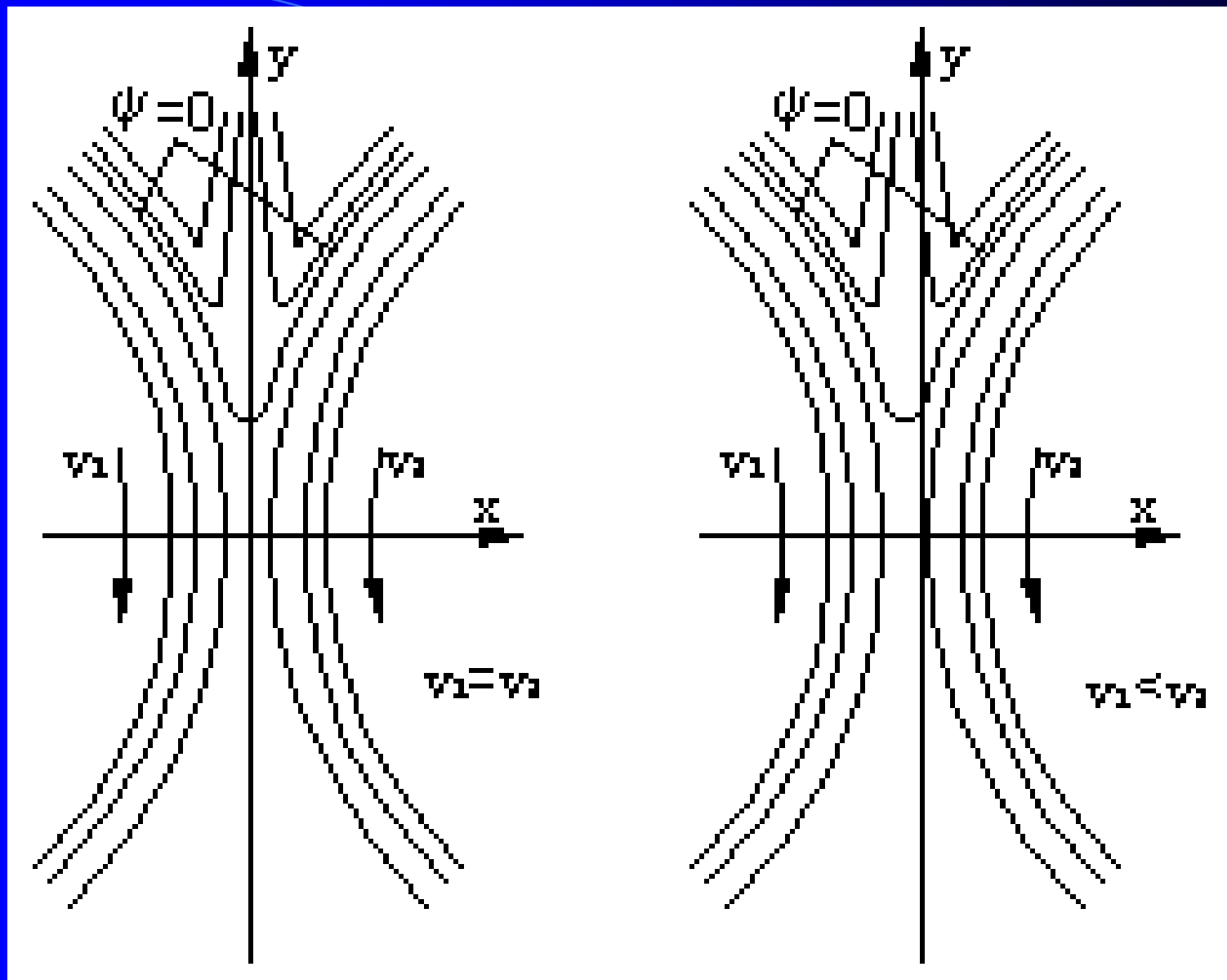
剪切作用是由于前、后辊筒有速比而产生，速比越大剪切力越大。

3、辊距大小对胶料的剪切作用以及对炼胶效果有无影响？

对同一机台来说，速比和辊筒线速度是一定的，可用减少辊距的方法来增加速度梯度，从而达到增加对胶料的剪切作用。如生胶的薄通塑炼，就是这个道理。速度梯度值大，炼胶的效果就好，特别对破胶及塑炼效果好。但对胶料剪切变形所需的能量增加时，胶料温度上升得快，所以要加强冷却。

4、炼胶过程中为什么要进行割胶、翻胶？

在炼胶过程中，将胶料进行切割对炼胶过程是十分重要的。根据流体力学的分析，炼胶过程胶料的流线分布如图所示。



胶料流线的分布图

从图中可见靠近辊筒处胶料的流线与辊筒转动面平行。而在楔形断面开始处，有一个回流区域，形成两个封闭的回流线（即 $\psi = 0$ 线）。当 $v_1 = v_2$ 时，这两个封闭回流线对称分布，当 $v_1 < v_2$ 时，两个封闭回流线的中性面移向慢速辊筒一侧。可见当 $v_1 = v_2$ 时，封闭回流线所受到的剪切作用较 $v_1 < v_2$ 时要小，影响了炼胶的效果。所以，大部分炼胶机都设计成两辊筒速度不同（ $v_1 \neq v_2$ ）。

但仅速度不同也不能得到最佳的炼胶效果，这是由于 $v_1 \neq v_2$ 时，楔形胶条仍然存在封闭回流。只有采用切割胶条的办法，促使胶料沿辊筒轴线移动，才能不断破坏回流，加速炼胶作用，取得良好的效果。

辊筒冷却结构及控制系统



※三、强化炼胶效果，必须具备四个条件

经过上面分析讨论可知，要想完成炼胶操作及得到较好的炼胶效果，应实现下面四点：

- 1、使胶料摩擦角大于接触角（ $\phi > \alpha$ ）以便把胶料带入辊距；
- 2、使前后辊速（线速度）不相等，以便对辊隙中的胶料进行强烈的挤压和剪切；
- 3、炼胶时，需要切割翻胶，以破坏胶料的封闭回流线，加强物料的分散效果；
- 4、炼胶过程中不断调整辊距，以改变速度梯度，提高炼胶效果。

§ 2—5 技术特征

-Technical Features

一、规格表示

开炼机的规格用“辊筒工作部分直径×辊筒工作部分长度”来表示，如 $\Phi 550 \times 1500$ ，单位是毫米。我国颁布标准规定的表示方法是在辊筒直径数字之前冠以汉语拼音符号，以表示机台的用途。由于国产开炼机已成系列，且绝大部分前后辊筒直径相同，因此，国家标准规定了长径比，一般只用辊筒直径表示。如：

XK—400：X表示橡胶，K表示开炼机，400表示辊筒直径；

SK—400：S表示塑料，K表示开炼机，400表示辊筒直径；

X（S）K—400：X（S）表示橡胶塑料通用，K表示开炼机，400表示辊筒直径。

对于一些特殊用途的专用开炼机，还要增加一个符号，如

XKP—400：其中P表示破胶机；**XKA—400**：其中A表示热炼机。

二、技术特征

机台的技术特征是我们比较关心的，因为我们在进行厂房设计时，机台的技术特征就显得比较重要，技术特征主要表明机器的性能参数，有些可在产品总目录及样本上查到，较详细的应找说明书。

对开炼机来讲，技术特征应包括：辊速、速比、功率、炼胶容量、辊距调整范围以及外形安装尺寸和传动方式等。国产炼胶机的规格与技术特征见下表。

炼胶机规格 (mm)	速比	前辊 线速度 (m/min)	主电 机功 率 (kw)	一次加料 (kg)	用途
φ650×2100	1~1.1	32	115	150	压片
φ550×1500	1.2~1.3	28	95	45~70	塑炼、混炼、热炼
φ550×800φ	1.25~1.35	26	75	2000公斤/时	破胶
450×1200φ4	1.2~1.3	24	55	30~50	塑炼、混炼、热炼
00×1000φ35	1.2~1.3	19	40	20~35	塑炼、混炼、热炼
0×900φ160	1.2~1.3	17	28	15~25	塑炼、混炼、热炼
×320φ160×	1.25~1.35	10	5.5	2	实验用
320	可调	可调	5.5	2	实验用

几种规格的开炼机

产品名称 (products name)	型 号 (model)	辊径×长度 (roll diameter × length) mm	辊筒速比 (roll ratio)	前辊线速度 (front roll speed) M/min	一次投料量 (feed rate for once) Kg	最大辊距 (maximum clearance of roll) Kg	电机功率 (motor power) KW	外形尺寸 (external dimensions) (长×宽×高)mm (L×W×H)mm	重 量 (machine weight) Kg	备 注 (remarks)
精炼机 (Refiner)	XKJ-370	370×600 446×600	1:1.72	15.345	25 ~ 35	10	37	4210×1850×1925	7600	干油、稀油 glyceryl, diluted oil
精炼机 (Refiner)	XKJ-400	400×760 518×760	1:1.71	20.83	30 ~ 50	10	45	4550×2100×1856	11000	干油、稀油 glyceryl, diluted oil
精炼机 (Refiner)	XKJ-480	480×800 610×800	1:1.815	22.31	55 ~ 60	15	75	5620×2500×1900	19000	干油 glyceryl

第三节

主要技术参数

开炼机的主要技术参数确定是进行该设备设计的重要工作，有必要对开炼机的几个重要参数进行认真地讨论。

§ 3—1 辊筒工作表面的直径与长度

辊筒是开炼机的主要工作零件。它的工作表面直径和长度是表示设备规格和生产能力的重要参数之一。

目前，开炼机的辊筒工作表面直径和长度已由国家进行了标准化。

$D \uparrow$ ， $L \uparrow$ ，加工能力 \uparrow ，产量 $Q \uparrow$ ，

当 D 一定， $L \uparrow$ ，辊筒变形 \uparrow ，挠度 \uparrow ，安全性 \downarrow 。

对开炼机来讲，主要用于胶料的粗加工，横压力 \uparrow ，因此，在辊筒设计时，必须保证足够的强度和刚度。

§ 3-2 辊筒的辊距

一、定义：两辊筒表面的最小距离称之为辊距。
单位用mm, me表示。

二、影响因素

辊距 e 大小对开炼机消耗功率 N 、炼胶量和炼胶效果都有影响。

在一定范围内，辊距 e 越小，胶料通过辊距的变形功越大，消耗的功率 N 越大，横压力 P 越大。

辊距 e 越大，胶料通过辊距的变形功越小，消耗的功率 N 越小，横压力 P 越小。

与此同时，辊距 e 越大，通过辊距的胶料数量增加，消耗的功率 N 就有增加的趋势。

§ 3-3 辊筒回转速度、速比和速度梯度

一、辊筒回转速度

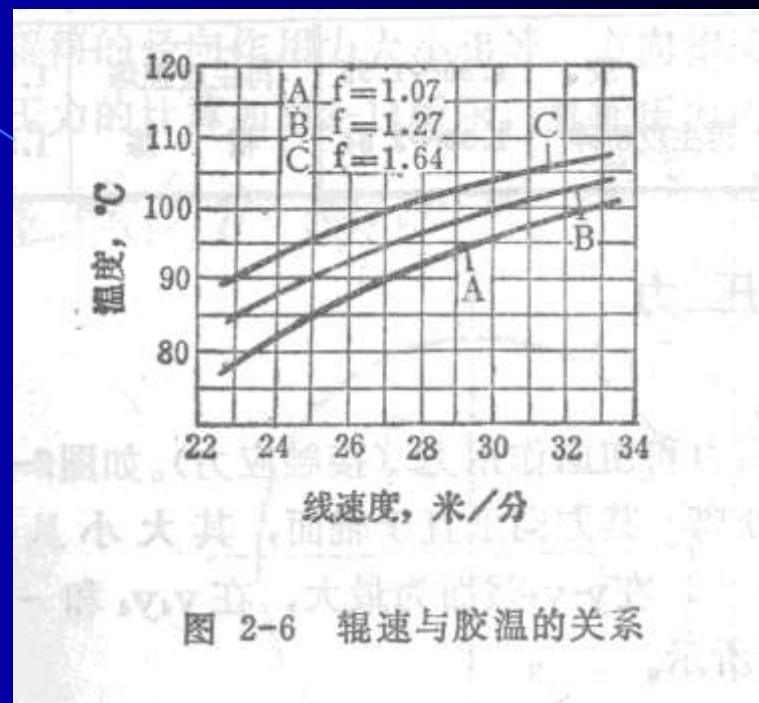
1、定义：辊筒回转速度，常以辊筒表面的线速度 V (m/min) 来表示，或以辊筒的转速 (1/rad) 来表示。

2、影响因素

辊速大小主要取决于开炼机的规格和设备的机械化水平。规格越大，机械化水平越高，线速度就越快。

V越快，Q越大，N越大，P越大，T上升快，必须解决冷却问题。

V越慢，Q越小，N越小，P越小，T上升缓慢。



二、速比f

1. 定义：开炼机辊筒的速比即是主动辊（后辊）与其被动（前辊）筒的线速度之比。一般用f表示，即

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_{\text{后}}}{v_{\text{前}}}$$

式中：f—两辊筒的速比

v_1 、 v_2 —分别表示后辊筒和前辊筒的线速度，单位m/min。

2、影响因素

速比是开炼机的主要参数之一，它直接影响到炼胶效果、开炼机的功率消耗，以及机台的结构，所以选择速比时要合理。为了保证操作者的安全，一般将后辊筒的速度选的快一些，前辊筒的速度选的慢一些，这样，根据定义， f 一般是一个大于1的数。

3、具体值：根据炼胶机的用途不同，其速比也有变化，其值为：

塑炼、混炼 $f=1.2\sim 1.3$ ，一般是 $i>i$ 。

压片 $f=1.0\sim 1.1$ 。热炼 $f=1.20\sim 1.50$ 。

三、速度梯度 (Velocity gradient)

1、定义：由于开炼机两辊筒的线速度不等（速比 $f \neq 1$ ），所以胶料在辊隙间的运动是变化的，（即产生速度变化）与后辊接触的胶料比与前辊接触的胶料运动快，所以我们把两辊线速度之差同辊距之比称为速度梯度，即

$$\frac{dV}{dX} = \frac{v_1 - v_2}{e} = \frac{v_2}{e} (f - 1)$$

式 $\frac{dV}{dX}$ ——速度梯度 (1/min)， e ——辊距 (m)。

2、影响因素

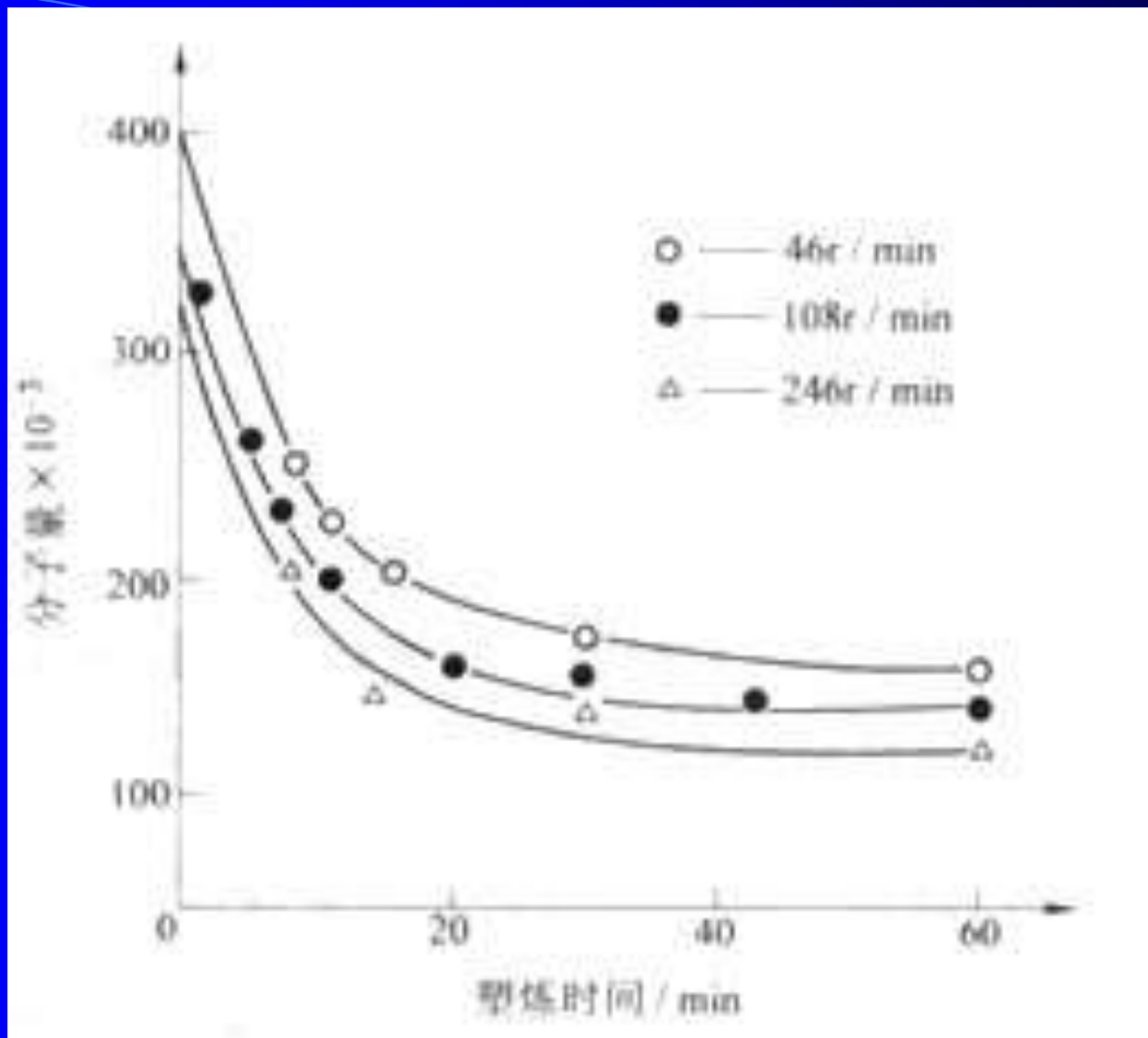
从上式我们看到，速度梯度受到前辊线速度、速比以及辊距的影响。

速比增加，速度梯度增加。

前辊筒速度越快，速度梯度越大。

辊距越小，速度梯度越大。

对于一台开炼机来讲，因速比、前辊筒速度都是常数（或仅有几个变化），所以，这时速度梯度仅是 e 的函数，要改变速度梯度通过改变 e 是非常有效的。



辊筒之间的速比越大，则速度梯度就越大，
剪切力也越大

3、优缺点

从实践中知道，增加速度梯度，胶料所受的剪切作用加强，能够强化炼胶，提高炼胶效果，对提高质量是有利的，但速度梯度增加过大，由于剪切作用强，摩擦生热快，胶料温度 T 也随之上升，这样，胶料粘度下降，对提高炼胶质量不利。所以速度梯度不能取很大，也不能取得过小，据一般资料介绍，对于胶料的塑炼、混炼一般不超过7500/min。

实际操作可根据工艺要求，在不致产生焦烧的情况下，可短时间内减小辊距。开炼机的速度梯度规定如下：

用途	计算速度梯度的辊距e	梯度值
塑炼、混炼、热炼、压片	3mm	1500~2200/min
	实验用小规格开炼机用	1500/min
	生产用大规格开炼机用	2200/min
破碎、粉碎	1.5(破碎)、2（粉碎）	7500/min

§ 3-4接触角(Contact angle)

接触角即是二辊筒断面中心的连线和胶料在辊筒上接触点至辊筒断面中心连线的夹角，一般用 α 来表示。

在同一台炼胶机上，接触角 α 与一次炼胶量有关。

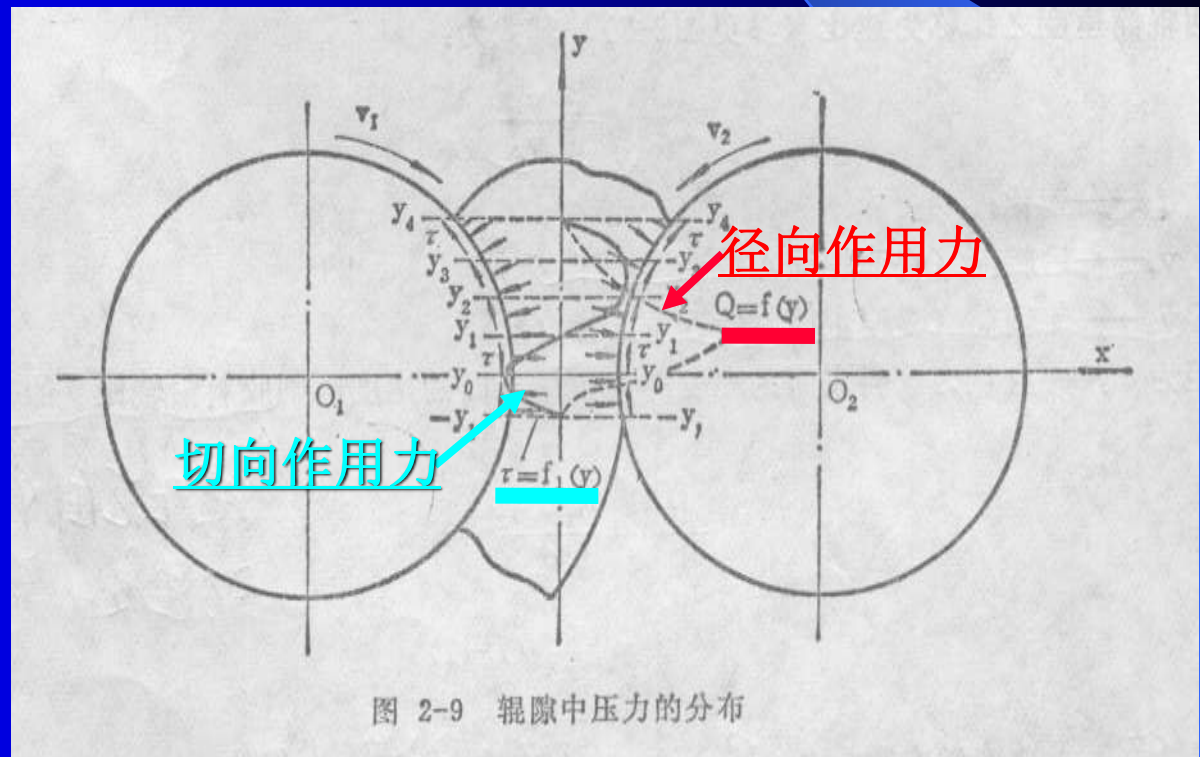
炼胶量增加， α 增大。

炼胶量减少， α 减小。

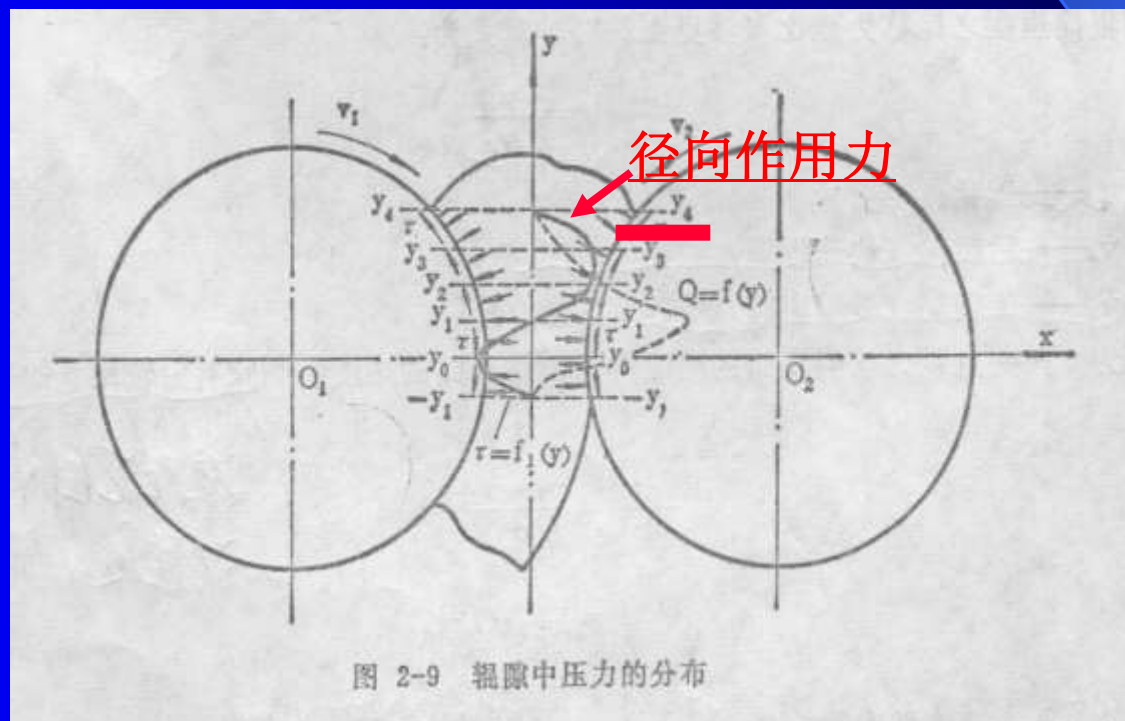
§ 3—5 横压力 (Transverse pressure)

一、横压力的概念

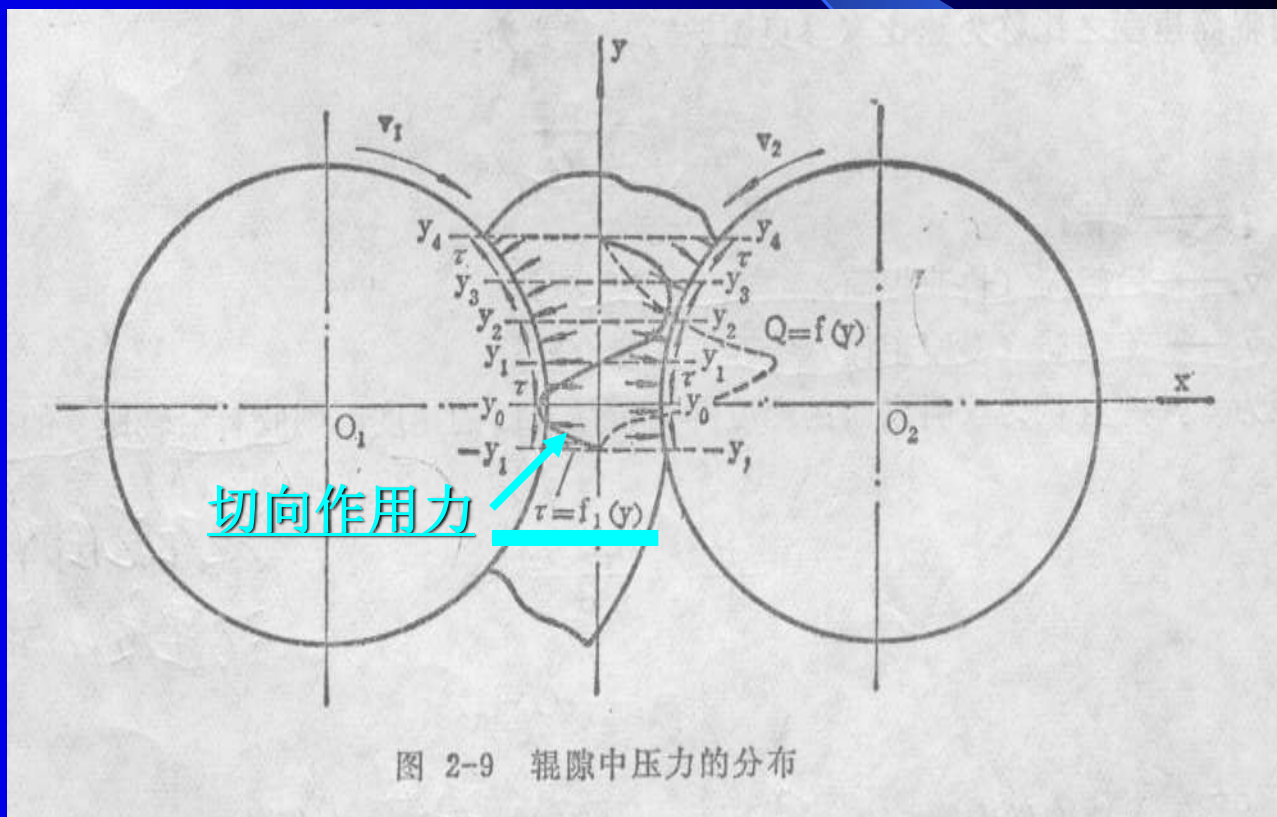
胶料通过辊隙时，胶料对辊筒产生径向作用力和切向作用力（接触应力）。如图所示。



径向作用力： $Q=f(y)$ ，它力图使两辊筒分离，其方向垂直于辊面，其大小从 $y_4y_4 \rightarrow y_1y_1$ 截面渐增，从 $y_1y_1 \rightarrow -y_1-y_1$ 截面又平滑下降，在 y_1y_1 截面为最大值，在 y_4y_4 和 $-y_1-y_1$ 截面为零。径向作用力的分布如图中的虚线所示。



切向作用力： $\tau = f_1(y)$ ，它力图使胶料拉入辊隙中，其方向取决于胶料的运动速度，其大小从 $y_4y_4 \rightarrow y_1y_1$ 截面由零经最大到零，从 $y_1y_1 \rightarrow -y_1-y_1$ 截面又由零经最大到零，由于在 y_1y_1 截面上、下胶料与辊面的相对运动方向不同，故二次出现的峰值相反。切向作用力的分布如图中的实线所示。



1. 定义：胶料在辊隙间对辊筒产生的径向作用力亦即横压力，又称分离力。

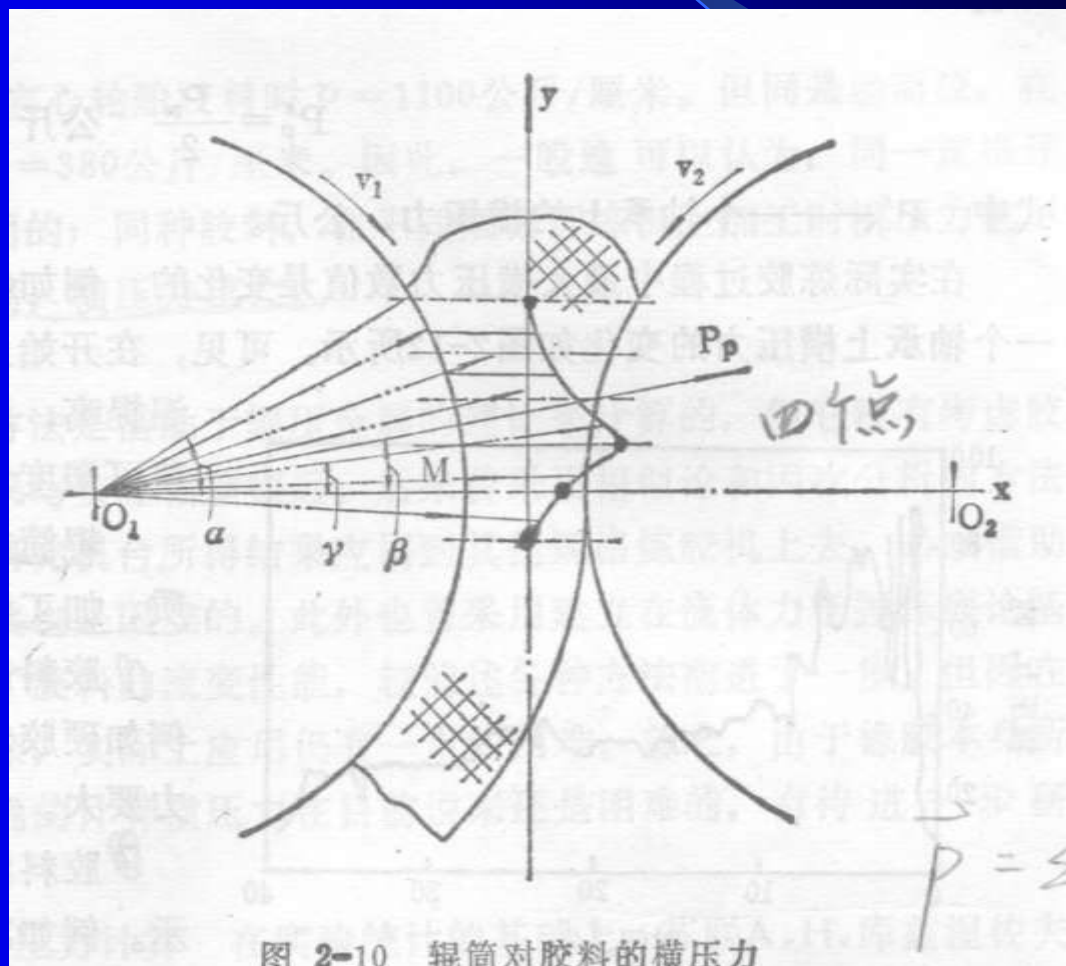
横压力是机械专业进行强度计算的原始数据，也是分析胶料所受压力作用和剪切作用的原始数据，通过分析它，使我们可以合理地制定操作工艺，合理地利用机台，提高经济效益。

2、分布与效应

横压力是开炼机的主要参数，在炼胶过程中，胶料在整个夹持弧上都产生对辊筒的径向作用力，而分布是不均匀的，随楔形断面地不断减小，横压力也在不断增大。

由实验知，横压力的最大值在夹持弧的 $3\sim 6^\circ$ 上，径向作用力的合力作用点要根据实验来确定，合力作用线与水平线的夹角一般在 $5\sim 10^\circ$ 范围内，推荐采用 10° 。

横压力有使二辊筒分开的趋势，使辊筒产生弯曲变形。辊筒对胶料的径向作用力与胶料对辊筒的径向作用力大小相等，方向相反。如图所示。



二、影响横压力的因素

横压力是开炼机的主要参数之一，它也受到许多因素的影响，因此我们必须了解其影响因素，对我们将来进行设计和分析设备机能很重要，辊筒横压力的大小，主要取决于胶料的性质、加工温度、辊距和辊筒线速度等。用函数式表示出来，即

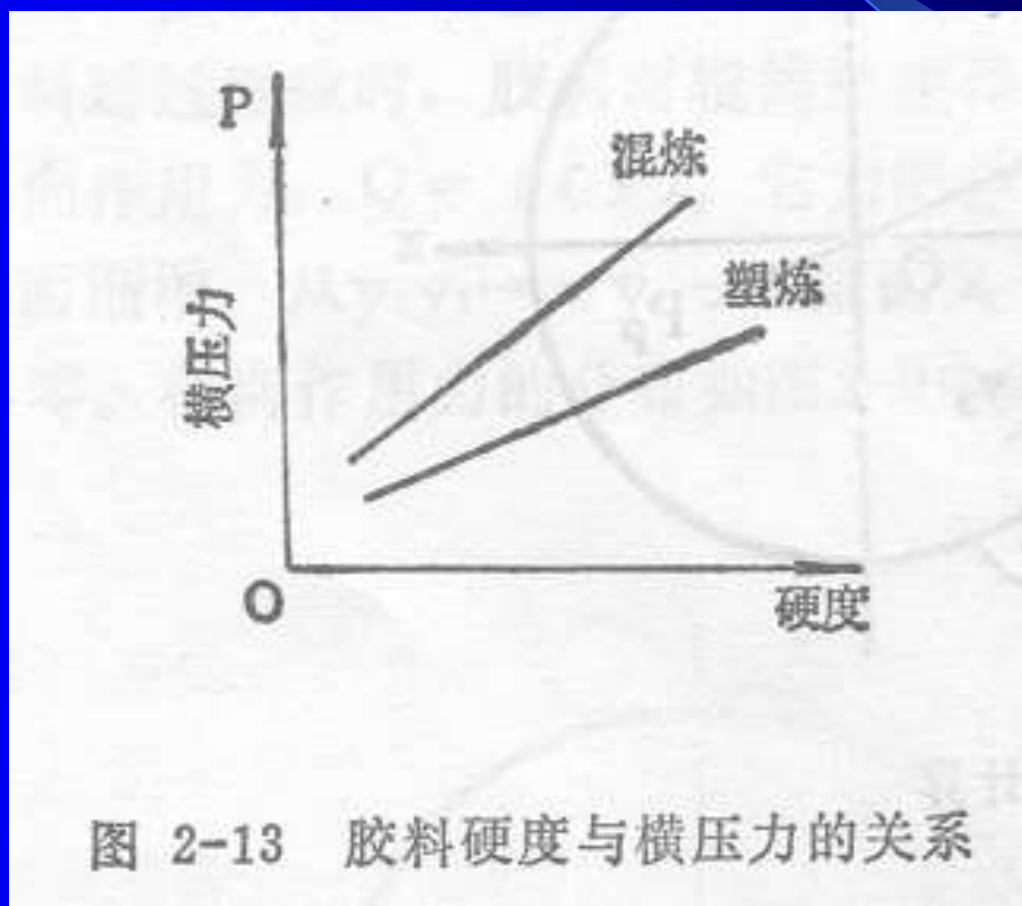
$$P=F(T, V, D \times L, e, t)$$

要从理论上定量的讨论是很困难的，使用时，只能从现有机台中确定几个参数后，由实验得来。

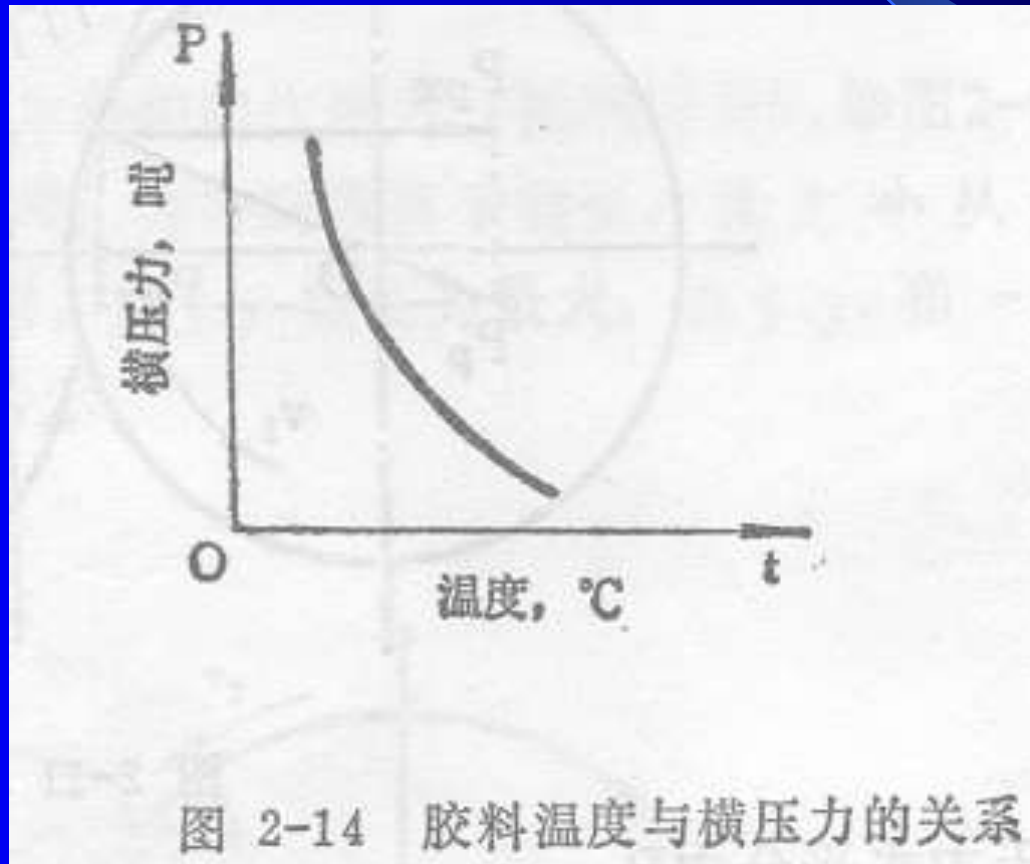
在这里只能定性的分析：

- (1) 横压力 P 与辊温 T 的关系，当 T 增大， P 减小；当 T 减小， P 增大。
- (2) 横压力 P 与辊筒规格 $D \times L$ ，当 $D \times L$ 增大， P 增大；当 $D \times L$ 减小， P 减小。
- (3) 横压力 P 与炼胶时间 t 的关系， t 越长， P 越小。
- (4) 堆积胶的多少与横压力的关系，（实际用接触角也可） α 越大， P 越大；当 α 越小， P 越小。

(5) 胶料性质与横压力的关系，当胶硬度越大， P 越大；当胶硬度越小， P 越小。如图所示，例如硬胶料的混炼与热炼比天然胶塑炼的横压力要大。



(6) 胶料温度与横压力的关系：温度越低，横压力越大。如图所示，例如冷破胶比预热70℃后再破胶，横压力大10~15%。



(7) 横压力 P 与辊距 e 的关系, 对于混炼胶来讲, 当 e 增大, P 减小; 当 e 减小, P 增大。

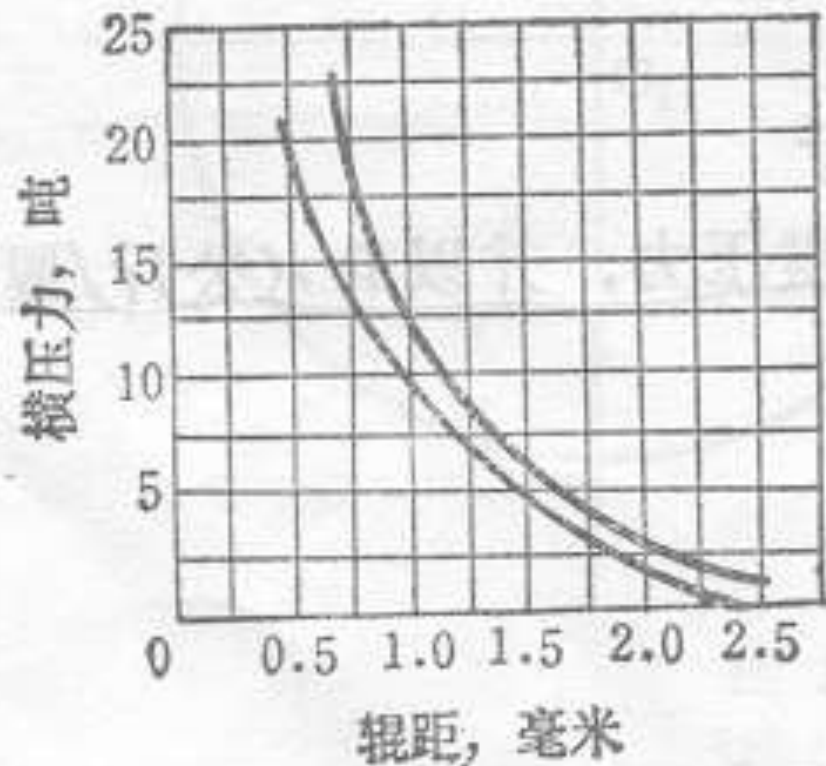


图 2-15 辊距与横压力的关系

(8) 辊筒工作线速度与速比对横压力的影响比较复杂

从流变学观点分析辊速越高，橡胶在短时间内变形量大，横压力应增加，但与此同时，如胶料温度亦升高，使横压力相对下降，二者相互抵消的作用，故横压力增加不大。

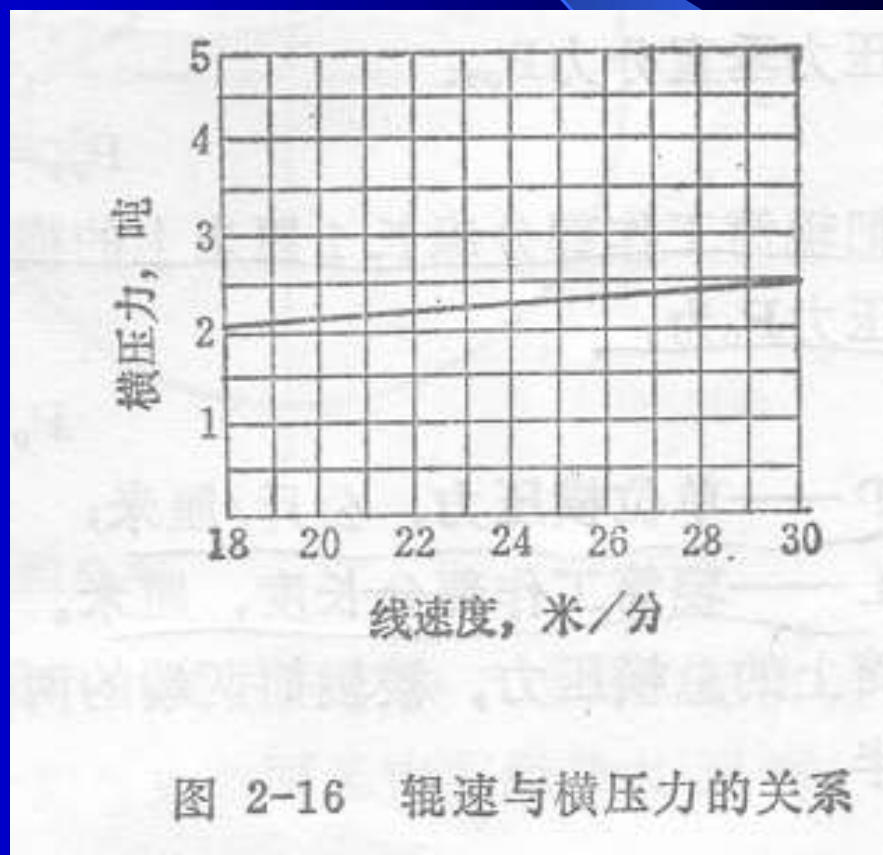


图 2-16 辊速与横压力的关系

在 $\phi 660\text{mm}$ 开炼机上混炼实心轮胎胶料时 $P = 1100\text{kg/cm}$ 。

但同是胎面胶，在 $\phi 305\text{mm}$ 开炼机上测得的横压力 $P = 380\text{kg/cm}$ 。

因此，一般地可以认为：同一规格开炼机，加工不同胶料时横压力是不同的；同种胶料，在不同规格开炼机上加工时横压力也不同。开炼机规格越大，胶料硬度越高，横压力越大。

三、横压力的分析

如下图所示，总横压力 P_p 可分解为水平分力 P_{px} 和垂直分力 P_{py} 。

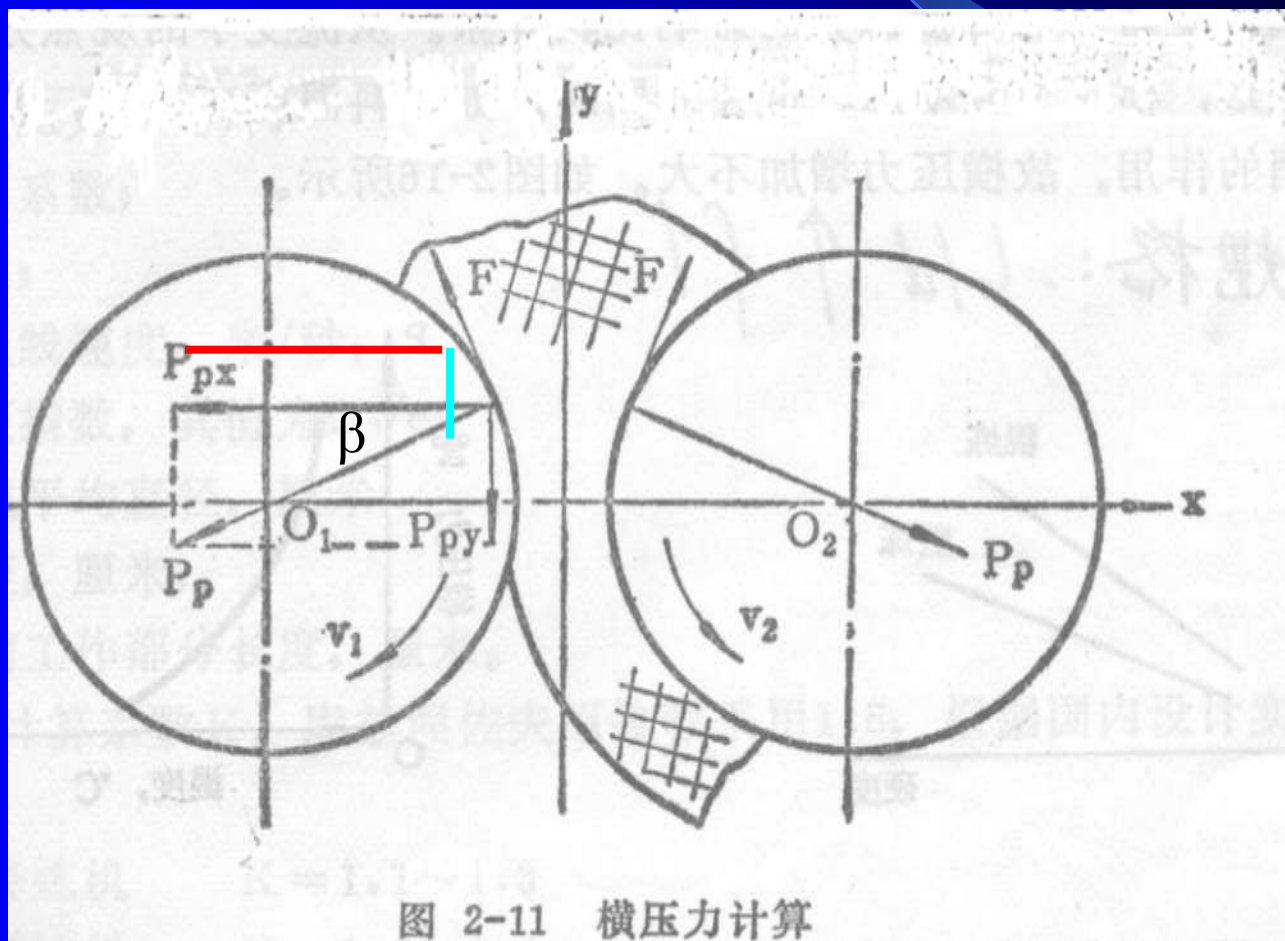


图 2-11 横压力计算

横压力水平分力 P_{PX} : $P_{PX}=P_P \cdot \cos \beta \text{ kg}$

横压力垂直分力 P_{PY} : $P_{PY}=P_P \cdot \sin \beta \text{ kg}$

式中 β ——横压力的合力角。

若把辊筒工作部分纵长1厘米上的横压力称为单位横压力，并以 P (kg/cm) 表示，则总横压力 P_P 为：

$$P_P = P \cdot L \text{ kg} \quad (2-3)$$

式中 P ——单位横压力，kg/cm；

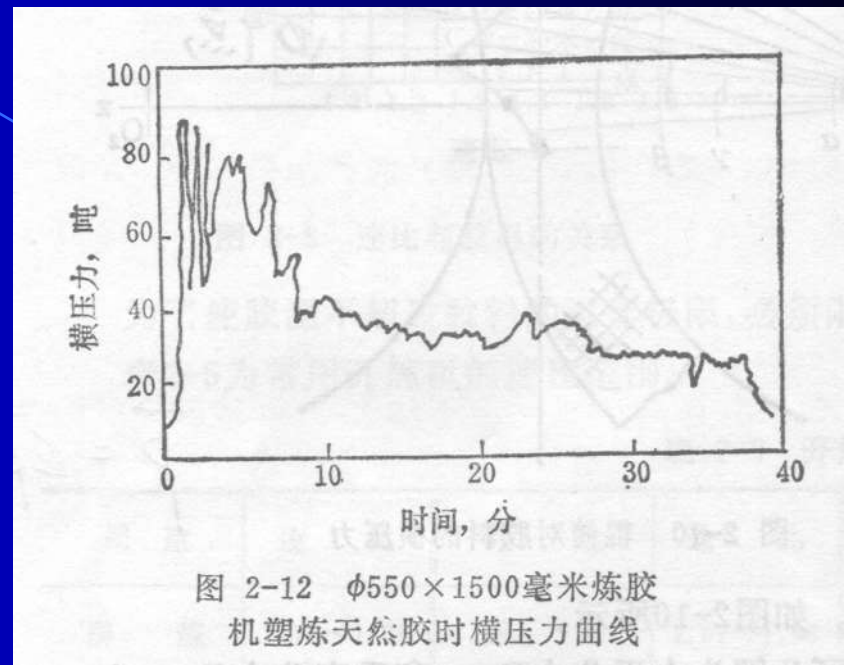
L ——辊筒工作部分长度，cm。

辊筒上的总横压力，被辊筒两端的两个轴承承担，这样一个轴承的横压力，即为总横压力，即为总横压力的一半。

$$P'_P = P_P / 2 \text{ kg} \quad (2-4)$$

式中 P'_P ——一个轴承上的横压力，kg。

在实际炼胶过程中最大横压力数值上是变化的。例如 $\phi 550 \times 1500\text{mm}$ 炼胶机塑炼天然胶时一个轴承上横压力的变化如图所示。



可见，在开始几分钟压力达到最大值。其后由于胶温提高，胶料变软。横压力很快地下降，当胶料可塑度均匀后，横压力的变化也就不大了。

四、横压力的计算

从理论上计算横压力，较早的方法是借助于辊压金属的理论来计算的，但它没有考虑胶料性质对横压力的影响，故计算结果与实际相差很远。后来曾采用相似论和因次分析的方法建立横压力计算公式。但若将实验研究机台所得结果应用到其他规格炼胶机上去，必须借助于转换系数。要准确地确定这个系数也是困难的。此外也曾采用建立在流体力学捏炼理论基础上的横压力算法。由于它考虑了胶料的流变性能，较前述各种方法前进了一步。但因在计算中涉及流变系数，公式又很复杂，实际上应用仍有一定的困难。总之，由于橡胶本身所具有的性质所决定，要从理论上准确地计算横压力在目前来说还是困难的，有待进一步研究。这里介绍几种方法，以供参考。

1、经验统计基础上的横压力计算

在实验统计的基础上，苏联A. H. 库兹涅佐夫推荐用下列公式计算总横压力的最大值：

kg (2—3)

$$P_p = K \cdot \frac{1+f}{2f} \cdot v^2 \left(\frac{235}{\sqrt{i}} + 27 \right) (26.8 + 0.47 D_0) \cdot L$$

式中 P_p ——总横压力，kg；

K ——计算系数；

f ——速比；

v ——后辊线速度，m/s；

I ——后辊指数，其值为 D_0/e ；

D_0 ——两辊平均直径，cm；

e ——辊距，cm；

计算系数K，库兹涅佐夫原推荐采用1.5，根据国内设计实践，可采用如下数值：

$\phi 650 \times 2100$ 开炼机 $K=1.1 \sim 1.3$

$\phi 550 \times 1500$ 开炼机 $K=1.2 \sim 1.4$

$\phi 450 \times 1200$ 开炼机 $K=1.3 \sim 1.5$

$\phi 400 \times 1000$ 开炼机 $K=1.4 \sim 1.7$

$\phi 360 \times 900$ 开炼机 $K=1.7 \sim 2.5$

上列计算系数是统计数据，供在计算时参考，可根据炼胶机用途具体分析选用。

2、建立在胶料捏炼流体动力理论基础上的横压力计算

流体捏炼理论认为：在辊隙中的胶料看作非牛顿型流体。

通过辊隙时呈粘性流动体流动。在推导计算过程中假设：

- 1) 由于胶料粘性很大，视通过辊隙的胶料为层流流动；
- 2) 靠近辊筒表面上的胶层与辊筒表面无滑动，在辊面处胶料的运动速度与辊筒线速度相等；
- 3) 通过辊距时胶料沿 y 方向流动速度近似相等；
- 4) 通过辊距的胶料为等温、稳定流动；
- 5) 胶料进入或离开辊隙时压力等于零；
- 6) 胶料的重力与惯性力远比表面力小，故可忽略不计。

奈维—斯托克斯方程是该计算式的导出基础。在辊隙中流动的胶料可近似的用下式来表达：

这里，

式中 $\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} = \frac{1}{\mu_{\text{效}}} \cdot \frac{\partial P}{\partial y}$ 垂直方向胶料的分速度；
 $\frac{\partial P}{\partial y} = 0$
 v_x ——水平方向胶料的分速度；
 P ——胶料的压力；
 $\mu_{\text{效}}$ ——胶料的有效粘度。

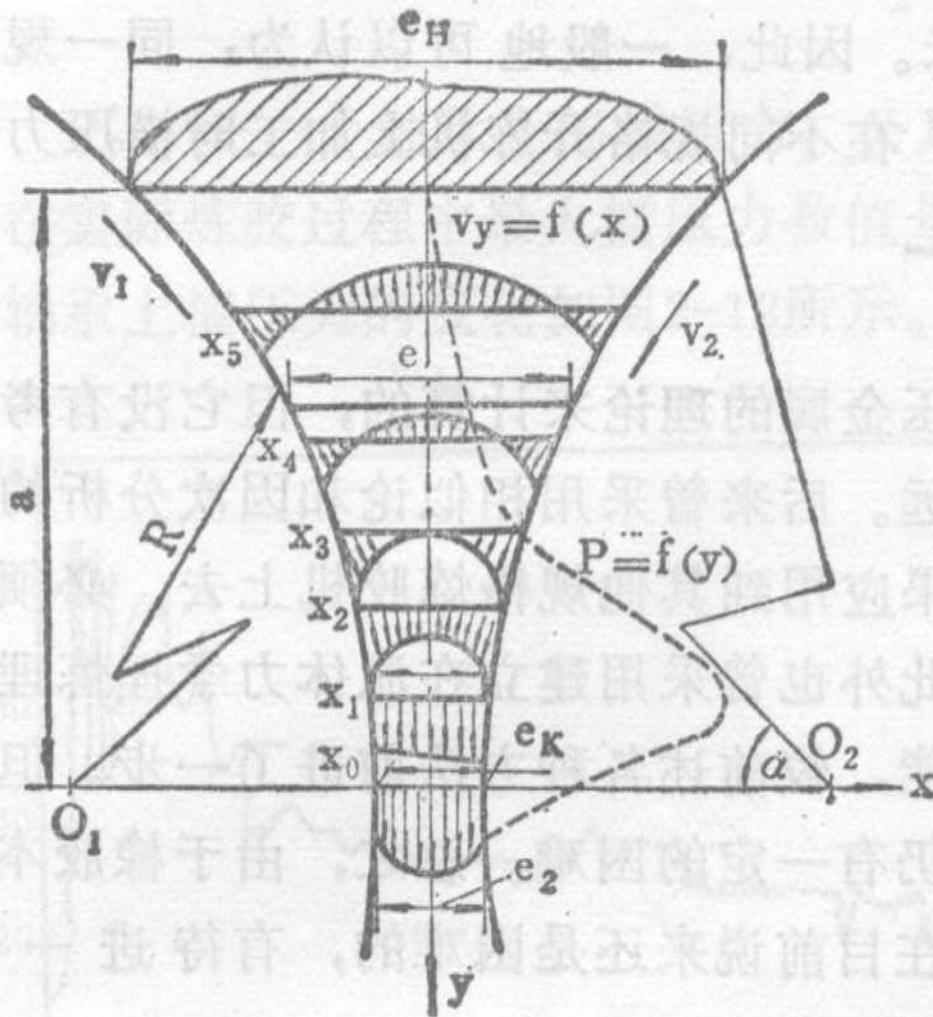


图 2-17 压力与速度的分布

在最大压力区域中， $\frac{\partial P}{\partial y}$ 即 $\frac{\partial}{\partial x}$ 为常数。把上式二次积分后得：

$$v_y = \frac{1}{\mu_{\text{效}}} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} \cdot \frac{x^2}{2} + c_1 x + c_2$$

当 $x = -e/2$ 时，胶料速度 $v = v_1$ ，当 $x = e/2$ 时，胶料速度 $v = v_2$ 。由于 $v_2/v_1 = f$ ，故 $v_2 = f v_1$ 。再利用边界条件分别求出积分常数 c_1 和 c_2 ，代入前式，整理后得：

$$v_y = \frac{1+f}{2} v_1 + \frac{1}{2\mu_{\text{效}}} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} \left(x^2 - \frac{e^2}{4} \right) + (1+f) \frac{v_1}{e}$$

按上式和胶料在辊距中的流速，可获得压力的微分方程式：

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \pm \frac{1+f}{2} 6\mu_{\text{效}} v_1 \sqrt{2} \frac{e-e_1}{e^3 \sqrt{e-e_k}}$$

对上式积分，便可求出加料对辊筒的单位横压力P：

$$\text{kg/cm} \quad P = \frac{1+f}{2} \frac{2.22 \mu_{\text{效}} \cdot v_1 R}{(2-e_k)}$$

式中 P——单位横压力，kg/cm；

f——速比；

$\mu_{\text{效}}$ ——胶料的有效粘度，kg · s · cm²；

v_1 ——前辊筒线速度，cm/s；

R——辊筒半径，cm；

e_k ——辊距，cm。

在应用（2—6）时，必须测得 $\mu_{\text{效}}$ 的有效值。工程上，为简化计算引入一个剪切计算系数 K_p ， $K_p = f(\tau)^c$ ，其中 $\tau \propto dv/dy$ ， c 为流变常数，故 k_p 取决于胶料的性质和剪切速度梯度，在引入 k_p 后（2—6）式可写为：

$$(2-7) \quad P = \frac{1+f}{2} \cdot D \cdot k_p \quad \text{kg/cm}$$

式中 D ——辊筒直径，cm；
 k_p ——剪切计算系数。

对邵氏硬度为55~65°的胎面胶，通过实测取得 k_p 值如下：

实验用开炼机 $k_p = 26.5$

塑炼（混炼）机 $k_p = 17.0$

压片机 $k_p = 12.0$

破胶机 $k_p = 23.5$

3、建立在相似理论基础上的横压力计算

以相似理论为指导，利用因次分析的方法，通过大量的实验，研究加料对辊筒的横压力。对加工混炼的开炼机，计算横压力的方程式总的形式如下：

$$\frac{P_p}{\gamma D^3} = c_1 B^{x_1} \left(\frac{e}{D} \right)^{y_1} \left(\frac{L}{D} \right)^{z_1} \left(\frac{D_1}{D} \right)^{k_1} \quad (2-8)$$

$$\frac{P_p}{\gamma D^3} = c_2 M^{x_2} \left(\frac{e}{D} \right)^{y_2} \left(\frac{L}{D} \right)^{z_2} \left(\frac{D_1}{D} \right)^{k_2} \quad (2-9)$$

式中 P_p ——总横压力，kg；

B ——胶料的还原性；

M ——胶料的柔软性；

γ ——加料比重，kg/cm³；

D ——辊筒直径，cm；

L ——辊筒工作部分长度，cm；

e ——辊距，cm；

c_1 、 c_2 、 x_1 、 x_2 、 y_1 、 y_2 、 z_1 、 z_2 、 K_1 、 K_2 ——计算系数。

利用上述方程，根据实验和曲线分布分析找出各计算系数，可相应的得到横压力的计算方程式。

对天然胶：

$$P_p = 40\gamma D^{1.19} L^{0.7} e^{0.01} B^{-4.3}$$

kg $P_p = 35\gamma D^{1.19} L^{0.7} e^{0.01} M^{-0.8}$

kg $P_p = c_1\gamma D^{1.4} L^{0.7} e^{0.1} B^{-0.4}$

对丁腈胶：
 $P_p = c_2\gamma D^{1.4} L^{0.7} e^{0.1} M^{-1.8}$

kg

kg

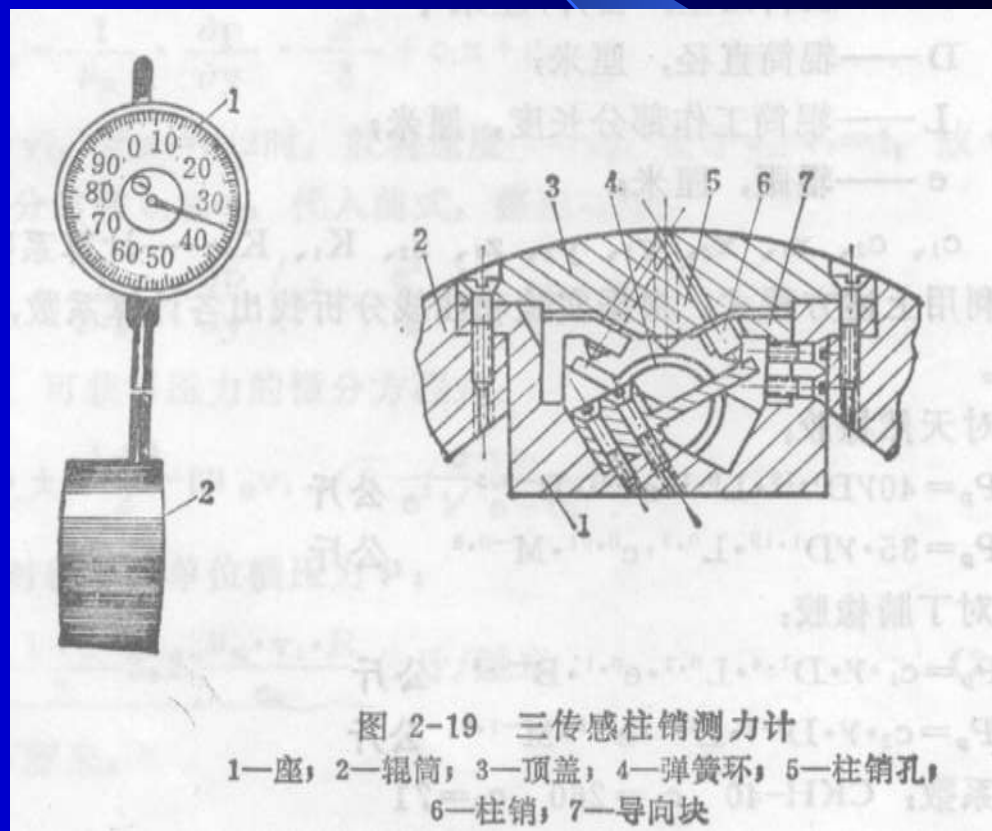
系数：丁腈—40 $c_1=260$ $c_2=71$

五、横压力的确定

由于横压力是开炼机设计的基本参数，所以合理地选择横压力是十分重要的。

从前面的讨论中可见，从理论上准确地计算横压力是困难的。在设计时一般设计开炼机的规格和主要用途，根据实际资料选择单位横压力，再根据辊筒工作长度去计算总横压力；另一种方法是按经验统计公式计算横压力，再对计算结果进行充分地分析对比，最后确定横压力；再一种方法是当所设计开炼机规格与所掌握的资料不符时，也可根据已知某种规格开炼机的横压力，按比例法拆算来考虑设计开炼机的横压力值。

横压力数值是用专门的测力计测量的，在实验研究中，为准确测取不同条件下的横压力，目前多采用传感器、示波器系统测量和记录横压力。下图所示为具有三个传感柱销的测力计。柱销与测力顶盖3上的孔研磨配合，并感受胶料的压力。中央的传感柱销与辊筒表面垂直，作用再弹簧环4上。环上贴有应变电阻丝，两旁的两个传感柱销6与辊筒2法向成 30° 角。感受材料的压力传递给弹性元件。而导向块7用于传感柱销导向。



§ 3—7 传动功率(Transmission power)

传动电机功率是开炼机传动设计的一个主要依据。

一、功率消耗的特点

1、在炼胶过程中，传动电动机的功率消耗是不均匀的。

在炼胶开始很短时间内达到最大值。其值常为工作数分钟后电动机负荷的2~3倍。这是由于炼胶开始时胶料为块状，弹性与硬度都较高，故必然消耗较大功率，随着炼胶时间的加长、胶料升温变软，功率消耗下降。

如图所示， $\phi 650 \times 2100\text{mm}$ 开炼机，进行胎面胶混炼时，功率峰值达210kw，但其平均值还不足140kw。

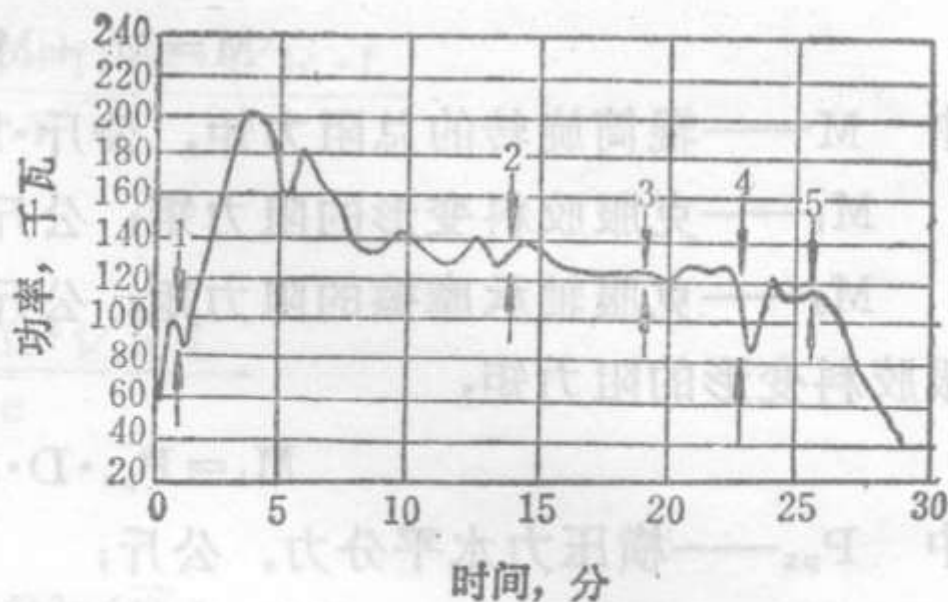


图 2-20 炼胶过程 N-t 图

1—加胶时；2—开始加配合剂时；3—配合剂加完时；4—放大辊距时；5—开始下片时

2、消耗的功率大。

炼胶车间是整个橡胶厂消耗电能最大的车间，占整个厂的40%~60%。

二、影响功率消耗的因素

影响功率消耗的因素是多方面的，也是比较复杂的。如辊筒直径、转速、速比、辊距、一次容量、胶料性质、炼胶温度、加工方法等。

1、辊筒线速度增大后，增加了单位时间内胶料的过辊次数，即增大了胶料变形次数，这样变形功增大。但在辊速增高时，如胶温升高胶料变软，使功率消耗有所下降；然而，辊速增大后，功率仍有所上升，如右图所示。

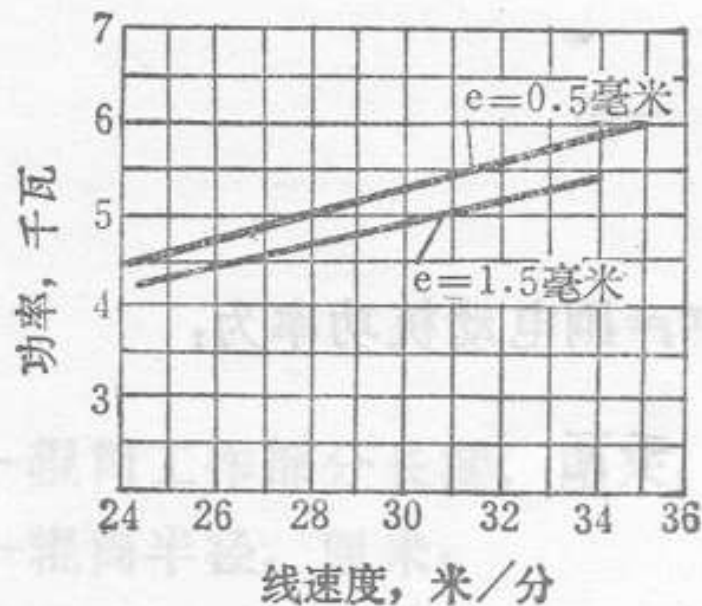
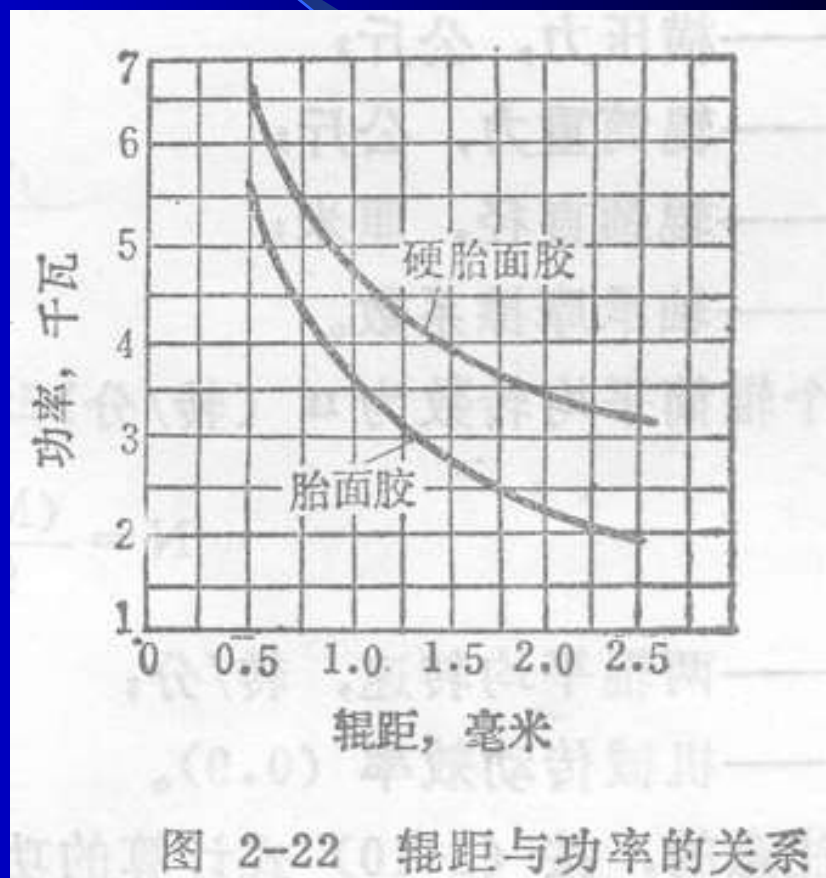


图 2-21 辊筒线速度与功率的关系

2、辊距对功率消耗的影响是复杂的，一般情况下，辊距增大，胶料通过辊距时的变形减少，变形功小，功率消耗下降。同时，

由于辊距增大横压力下降多，引起摩擦扭矩下降，功率消耗下降。 $\phi 160 \times 320\text{mm}$ 开炼机混炼时，辊距与功率的关系，如右图所示。



3、胶料的硬度越大，功率消耗越大。冷胶块比预热70℃后破胶功率消耗增加30~40%。可见胶料温度越高，胶越软，功率消耗越小。

单台传动的开炼机传动功率如下表所示。

规格 毫米	换算 系数	功率 马力	规格 毫米	换算 系数	功率 马力
300×300×660	1.0	20	450×450×1200	3.7	75
360×360×800	1.5	30	560×510×1530	4.5	100
400×400×1000	2.5	50	600×610×2130	5.0	150

三、功率的计算

由于影响传动功率的因素颇多，到目前为止，还没有一个十分准确的计算方法来计算开炼机传动功率。下面简要介绍几种方法，供设计时参考。

1、按辊筒旋转阻力矩计算

辊筒旋转时产生的阻力矩，有两个：一个使克服胶料变形的阻力矩；另一个是克服摩擦阻力矩。而总阻力矩：

$$M = M_1 + M_2 \quad \text{kg} \cdot \text{cm}$$

式中 M ——辊筒旋转的总阻力矩， $\text{kg} \cdot \text{cm}$ ；

M_1 ——克服胶料变形的阻力矩， $\text{kg} \cdot \text{cm}$ ；

M_2 ——克服轴承摩擦阻力矩， $\text{kg} \cdot \text{cm}$ 。

克服胶料变形的阻力矩：

$$M_1 = P_{Px} \cdot D \cdot \sin \beta$$

kg•cm

式中 P_{Px} ——横压力水平力，kg；

D ——辊筒直径，cm；

β ——横压力合力角（10°）。

克服轴承摩擦阻力矩：

$$M_2 = (P + G) \cdot d \cdot \mu \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

式中 P ——横压力，kg；

G ——辊筒重力，kg；

D ——辊筒直径，cm；

μ ——轴承摩擦系数。