

水泥中技电视录像教材

煅烧工艺与设备

(回转窑部分)

湖南省建筑材料工业局

水泥中技电视录像教材（试用本）

煨烧工艺与设备

【回转窑部分】

（内部发行）

湖南省建材工业局组织编写

望城县丰华印刷厂承印

开本：16 印张：6.1 字数：142 千字
1988年第一版 1988年7月第一次印刷

目 录

8 回转窑	(1)
8.1 概述	(1)
8.1.1 回转窑的分类	(1)
8.1.2 回转窑带的划分	(2)
8.2 回转窑的结构	(2)
8.2.1 筒体及支承装置	(2)
8.2.2 传动装置	(8)
8.2.3 密封装置	(9)
8.3 回转窑的热交换装置	(11)
8.3.1 链条	(11)
8.4 熟料冷却装置	(16)
8.4.1 筒式冷却机	(17)
8.4.2 篦式冷却机	(18)
8.5 煤粉的制备和燃烧系统	(22)
8.5.1 煤粉制备	(22)
8.5.2 窑头喷煤和烧嘴	(24)
8.6 熟料在回转窑内的煅烧	(25)
8.6.1 水泥熟料在回转窑内煅烧过程	(25)
8.6.2 物料在回转窑内运动	(26)
8.6.3 回转窑内的气体流动	(28)
8.6.4 燃料在回转窑内的燃烧	(29)
8.6.5 回转窑内的传热	(33)
8.7 回转窑的操作	(35)
8.7.1 开窑点火和停窑	(35)
8.7.2 挂窑皮和保护窑皮	(41)
8.7.3 正常运转时的操作	(43)
8.7.4 不正常情况的操作	(49)
8.8 带窑尾余热利用装置的回转窑	(55)
8.8.1 带料浆蒸发机的回转窑	(55)
8.8.2 带余热锅炉的回转窑	(59)
8.8.3 带回转篦子加热机的回转窑	(59)
8.9 带悬浮预热器的回转窑	(63)
8.9.1 带旋风预热器的回转窑	(63)

8·9·2	带立筒预热器的回转窑	(68)
8·9·3	悬浮预热器的几个参数	(74)
8·10	窑外分解窑	(75)
8·10·1	工艺概要及生产流程	(76)
8·10·2	分解炉的类型及其工作原理	(79)
8·10·3	我国窑外分解技术的发展	(83)
8·11	回转窑的热经济分析与安全生产	(87)
8·11·1	回转窑的安全生产	(87)
8·11·2	回转窑的热经济分析	(88)
附一 水泥厂常用离心式通风机的型号、规格和性能范围		

8 回转窑

8.1 概 述

回转窑具有台时产量高、熟料质量好、机械化、自动化程度高等优点，为一般大中型水泥厂所采用。

8.1.1 回转窑的分类

回转窑为一横向倾斜放置的筒体。生料从冷端喂入，随着窑的不断回转，生料就移向热端并被煅烧成熟料，进入冷却机冷却后卸出。燃料(煤粉、油或天然气)从热端(窑头)喷入，在窑内燃烧加热物料。废气由排风机抽出，经收尘后排入大气。

随着水泥技术的发展，出现了不同类型的回转窑。依据生料制备方法的不同，可将其划分为湿法、半干法(半湿法)和干法生产的回转窑。

一、湿法回转窑

湿法工艺是将生料制成含水分32~40%的料浆，然后入窑煅烧。相应使用的窑称为湿法回转窑，如图8—1。

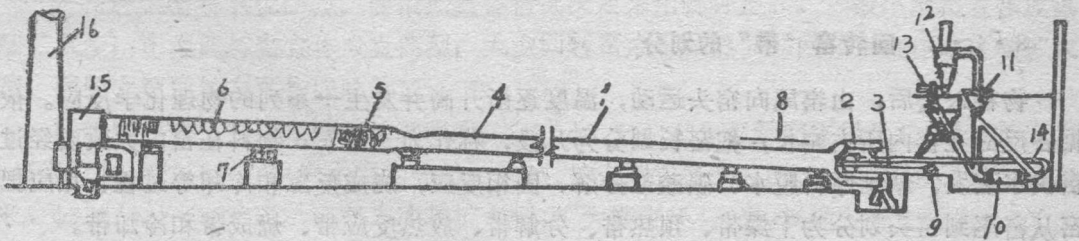


图8—1 湿法长窑生产流程图

- 1—回转窑；2—多筒式冷却机；3—喷煤管；4—传动牙轮；5—热交换器；
6—链条；7—托轮；8—水冷却；9—鼓风机；10—煤磨；11—选粉机；
12—旋风收尘器；13—煤磨排风机；14—热风管；15—收尘室；16—烟囱

湿法窑一般较长，在窑内冷端挂有链条以增大传热面积，这种窑称为湿法长窑。也有的不挂链条而在窑后设一料浆蒸发器。

二、半干法(半湿法)回转窑

将生料制成生料粉，加12~14%的水制成料球，然后入窑煅烧的生产方法称为半干法。将生料制成料浆，然后压滤成含水12~14%的料饼入窑煅烧的方法称为半湿法。这两种方法采用的窑为在窑后设立波尔加热机的窑，称为立波尔窑，如图8—2所示。

三、干法回转窑

凡直接将生料粉入窑煅烧的窑统称干法回转窑。最早的干法窑是一中空圆筒，称为干法中空窑。由于其热效率很低，以后相继出现了带余热锅炉发电的回转窑、带各种悬浮预热器的回转窑及带分解炉的回转窑。图8—3为一带旋风气悬浮预热器的回转窑生产流程。

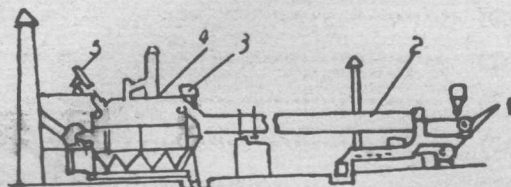


图8—2 立波尔生产流程图

1—鼓风机；2—回转窑；3—提升机；
4—加热机；5—成球盘。

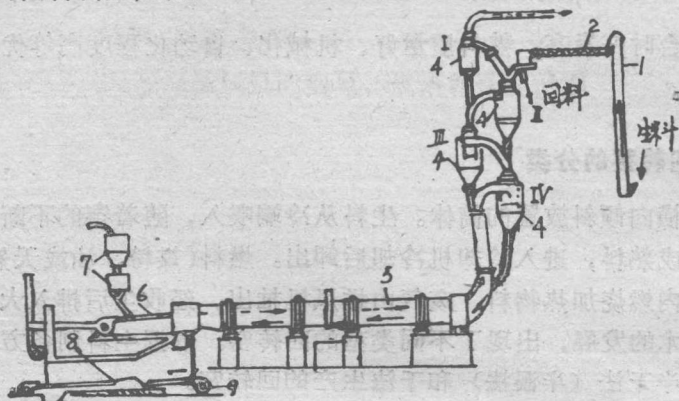


图8—3 带悬浮预热器窑生产流程图

1—提升机；2—螺旋输送机；3—螺旋喂料机；4—旋风式悬浮预热器；
5—回转窑；6—喷煤管；7—煤粉仓；8—熟料冷却机；9—冷却用鼓风机

8·1·2 回转窑“带”的划分

物料入窑后，由窑尾向窑头运动，温度逐渐升高并发生一系列的物理化学反应。依据各反应在窑内所占窑长，把窑长划分为几段，称之为“带”。物料在窑内大致要经过自由水蒸发、粘土原料脱水、碳酸盐分解、固相反应、烧成反应和冷却等过程、相应把窑从窑尾到窑头划分为干燥带、预热带、分解带、放热反应带、烧成带和冷却带。

有些反应并不一定在窑筒体内，而在不同的窑后预热器中进行，故有些窑的某些带在窑外。如立波尔窑的干燥、预热带在窑外、带悬浮预热器窑的干燥预热带在窑外，分解带也有部分在窑外。

8.2 回转窑的结构

回转窑由筒体、支承装置、传动装置、密封装置和喂料等装置组成。

8·2·1 筒体及支承装置

一、筒体

筒体是回转窑的主体。由不同厚度的钢板分段卷制，然后再焊接而成。筒体内砌耐

火材料。为了使筒体适应窑内各不同反应的要求，有的要将窑不同部分的直径扩大，作成各种形状。常见的有如下几种，如图8—4所示：

1. 直筒型

筒体各部分直径相同。具有制造、安装方便，可采用同样直径的轮带和托轮，减少零件备用量，易于镶砌耐火砖，耐火砖品种规格少等优点。

2. 热端扩大型

热端扩大型即是将燃烧室容积扩大。因而可以提高回转窑的发热能力，提高产量。这种窑型仅适应于发热能力不足的小型窑。否则，会使窑尾废气温度升高，热耗增加。

3. 冷端扩大型

即是将窑的干燥、预热带扩大。对湿法窑可多挂链条，增大传热面积，提高预烧能力、降低窑尾风速和废气温度，降低热耗。对干法窑，冷端扩大便于和预热器相连。这种窑型适用于预烧能力不足的大型窑。

4. 哑铃型

是将回转窑的两端扩大，提高烧成能力和预烧能力。中间直径小可节约钢材，同时，可使分解带料层加厚、防止窜料。但分解带风速高，扬尘较大。

这四种窑型各有优缺点，要根据具体情况决定采用哪种型式。一般小型窑宜作成热端扩大型；中型回转窑宜作成直筒型；大型回转窑或带预热器的回转窑宜作成冷端扩大型；而特大型回转窑可作成哑铃型。

回转窑的规格可用直径乘长度表示。如： $\phi 3.5 \times 145\text{m}$ 表示窑直径为3.5米，长度为145米。 $\phi 3.0/2.8 \times 70\text{m}$ 表示窑为热端扩大型，扩大端直径为3.0米，其余为2.8米，长70米。 $\phi 3.6/4.1 \times 70\text{m}$ 表示该窑为冷端扩大型，扩大端直径4.1米，其他各处直径为3.6米，长70米。 $\phi 4.4/4.15/4.4 \times 180\text{m}$ 表示该窑为哑铃型，热端及冷端直径为4.4米，中部直径4.15米，窑为180米。

二、支承装置

支承装置由轮带、托轮、轴承和挡轮组成。它承受着窑及窑内物料的全部重量。

(一) 轮带

轮带是圆形钢圈，套装在窑筒体上。轮带将窑的全部重量传给托轮。轮带在托轮上滚动，其本身还起着增加筒体刚度的作用。

轮带是以铸钢或锻钢制成，锻造轮带其截面为实心结构，质量好使用年限长，但是散热差，刚性差，制造工艺复杂。截面尺寸较大的轮带，一般采用铸造的，其截面有实心矩形和空心箱形两种。

轮带在筒体上的安装有两种方式。一种是固定式，将轮带通过垫板直接铆在筒体上。

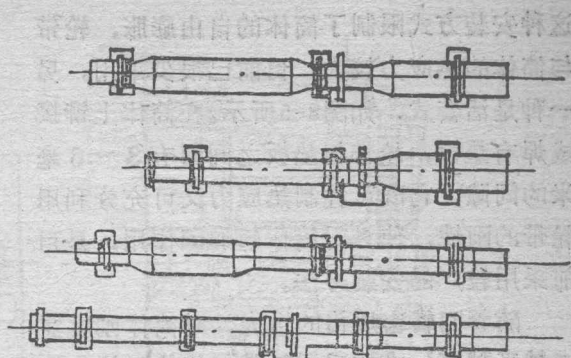


图8—4 回转筒体的型式

- 1—直筒型窑；2—热端扩大型窑；
3—冷端扩大型窑；4—哑铃型窑

这种安装方式限制了筒体的自由膨胀，轮带与筒体的热应力较大，目前已很少采用。另一种是活套式，如图8-5所示。在筒体上铆接或焊有垫板，轮带与垫板之间留有3~6毫米的间隙，它既可控制热应力又可充分利用轮带的刚性，使之对筒体起加固作用，是目前采用较广的安装方法。

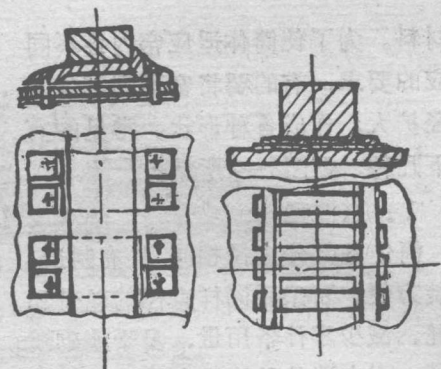


图8—5 轮带在筒体上的安装（活套）

随着回转窑规格的增大，对筒体刚度要求越来越高，有的采用轮带与筒体一体化结构。这种结构型式较多，图8—6是其中两种。这种结构的特点是，轮带既作为支承部件，又是筒体的一部分。同时采用焊接方式与筒体作固定连接，以提高筒体的刚度。

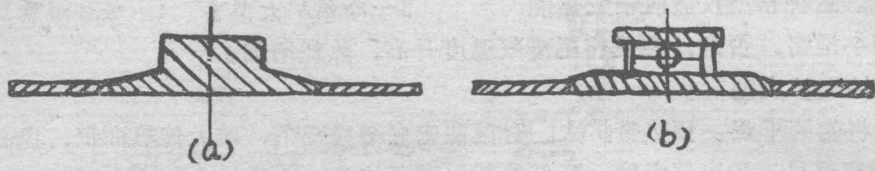


图8—6 筒体轮带一体化结构

（二）托轮组

在每道轮带下方两侧，设有一对托轮支承着窑筒体。其结构如图8—7所示。托轮的直径一般为轮带直径的1/4，其宽度一般比轮带宽50~100毫米。为使窑筒体平稳地回转，各组托轮中心线必须与窑筒体中心线平行。为使托轮受力均匀，在安装时，必须将两托轮中心与窑中心的连接构成一等边三角形，每对托轮的间距可由活动顶丝来调节。

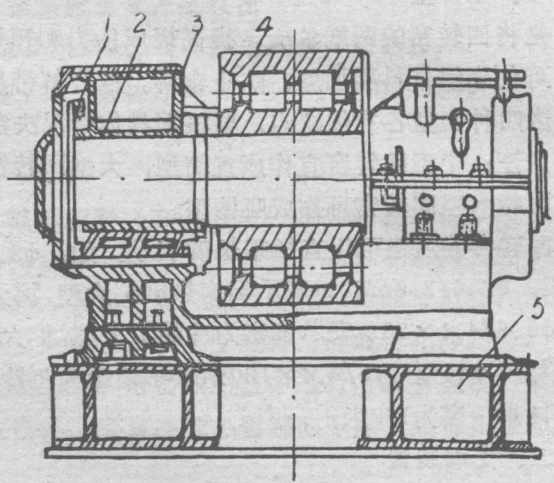


图8—7 回转窑的轮与轴承

- 1—油勺；2—分配器；3—托轮轴劲；
- 4—托轮；5—机架。

托轮由托轮轴承来支承。托轮轴承的工作环境很差。承受的负荷大，温度高，周围灰尘大。一般采用滑动轴承，也有采用滚动轴承的。滑动轴承的结构如图8—8所示。

（三）挡轮

挡轮的作用是给我们及时指出窑体在托轮上的运转位置是否正确，并限制或控制窑体轴向窜动。挡轮一般装在靠大齿轮的一道轮带两侧。按其受力及工作情况，可分为三种。

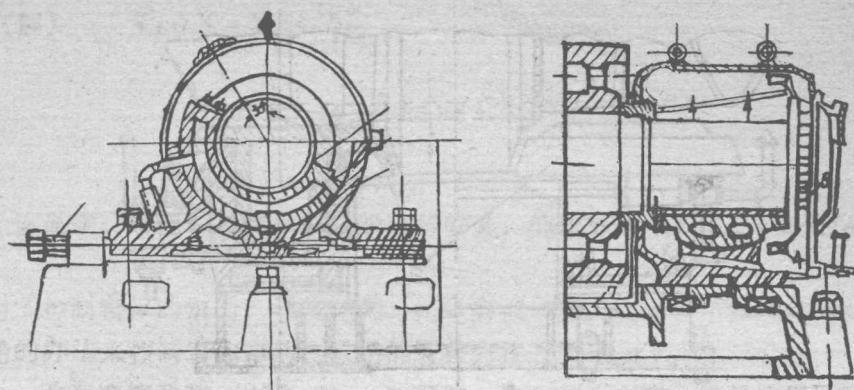


图8—8 托轮轴承结构

- 1—瓦衬；2—球面瓦；3—轴承座；4—油勺；5—止推盘；
6—止推环；7—底座；8—顶丝。

1. 不吃力挡轮：这种挡轮成对安装在齿圈邻近轮带的两侧，其结构如图8—9所示。当窑体窜动时，轮带侧面与挡轮接触，使挡轮回转。但它不能承受窑体窜动的力量，只是发出窑体窜动已超过了允许范围的信号。这时就要及时调整托轮，控制窑体窜动。因此，这种挡轮也称信号挡轮。

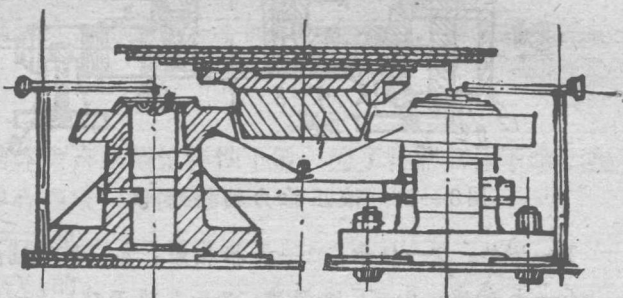


图8—9 不吃力挡轮结构

2. 吃力挡轮：其结构如图8—10所示，可看出它比信号挡轮坚固，可承受窑筒体下窜的力。使用这种挡轮的托轮中心线平行于窑体中心线，不需调斜托轮，还能消除因托轮调斜后，托轮与轮带局部接触磨损严重的问题。但这种挡轮使轮带与托轮接触位置不变，托轮的接触面易形成台肩，影响工作。

- 1—轮带；2—挡轮

3. 液压推力挡轮：随着窑的大型化，为使轮带和托轮在全宽上能均匀磨损，出现了液压挡轮，如图8—11所示。这种装置可以同时用几个小型液压挡轮共同承受轴向窜动力，而且各液压挡轮间的油路是并联的，因此载荷可以平均地作用在各个挡轮上。在工作时，窑体向下滑动，到达一定位置后，触动限位开关启动液压油泵，推动窑体上移。上移到一定位置后，触动限位开关，油泵停止工作，筒体又靠弹性滑动下滑。如此往返，使轮带以每8~12小时移动1~2个周期的速度游动在托轮上。

(四) 窑体的窜动与托轮调整

回转窑与水平线呈3~5%的斜度放置在托轮上。若托轮的中心线都平行于筒体中心线，则在筒体回转时，轮带与托轮的接触处作用着两个力（见图8—12），一个是窑体回转部分重量产生的下滑力 G_2 ，其方向平行于筒体中心线向下；另一个是由大牙轮带动筒体回转产生的圆周力 T ，其方向沿轮带切线且垂直于筒体下滑力。理论计算表明，圆

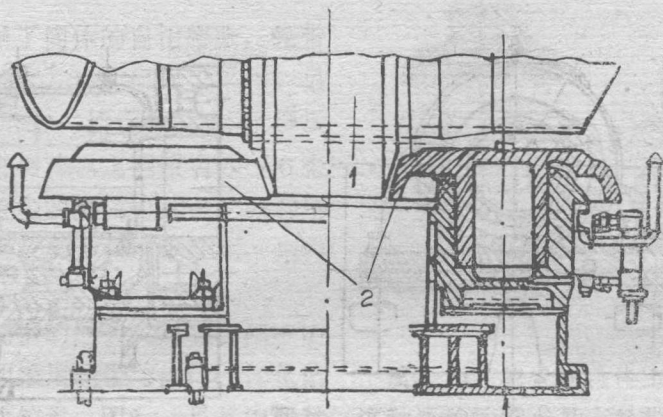


图8—10 吃力挡轮结构

1—轮带；2—挡轮

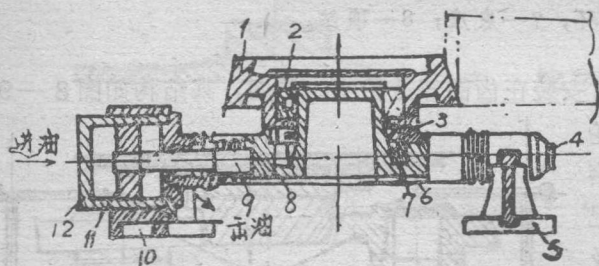


图8—11 液压推力挡轮结构

1—挡轮；2—轴承；3—止推轴承；4—支承轴；
5—上底座；6—下球面座；7—上球面座；8—空
心轴；9—活塞杆；10—下底座；11—活塞；12—油缸。

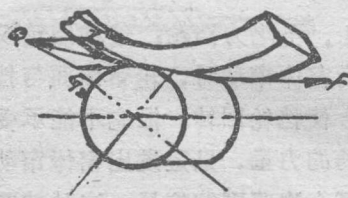


图8—12 轮带与托轮间

力的分析图

周力和筒体下滑力的合力，不能克服轮带与托轮的摩擦力，故筒体不会向下滑动。但能使轮带与托轮的接触处产生弹性变形而造成弹性滑动，致使筒体向下窜动。有人提出筒体的理论弹性下滑速度可按下式计算：

$$V_3 = K \cdot V_1 \cdot \frac{\tan \alpha}{f} \quad (8-1)$$

式中：

V_3 ——筒体理论弹性下滑速度，（米/分）；

V_1 ——轮带的圆周速度，（米/分）；

α ——窑的斜度，（度）；

f ——轮带与托轮的摩擦系数，一般无油时为0.15；

K ——比例系数，其值由轮带与托轮的材质而定，一般为0.001~0.005，当轮带和托轮采用ZG45和ZG55铸造时，取 $K=0.001$ 。

〔例8—1〕某厂 $\phi 3.7 \times 3.3 \times 70$ 米干法回转窑，筒体转速 $n=1$ 转/分，轮带直径 D 为4360毫米，筒体倾斜角为 $2^\circ 30'$ ，在轮带托轮无油情况下，计算其理论弹性下滑速度。

$$\begin{aligned}
 \text{〔解〕} \quad V_s &= K \cdot V_1 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{f} \\
 &= 0.001 \times 3.14 \times 4360 \times 1 \times \frac{0.0437}{0.15} \\
 &= 0.0039 \text{ (米/分)}
 \end{aligned}$$

上例说明, 若托轮与筒体中心线平行安装, 筒体理论上就以3.9毫米/分的速度向下滑动。

为了控制窑体的窜动, 并使轮带、托轮磨损一致, 在不使用液压挡轮时, 常常用调整托轮的办法来控制窑体窜动。常用的调整方法及原理如下:

1. 改变摩擦系数。由式(8—1)可知, 在正常生产中, 筒体直径D和倾斜角是一定的, 窑转速一般也是稳定的。因此, 理论弹性下滑速度只与轮带和托轮的摩擦系数有关。当窑体窜动较小时, 可用改变摩擦系数的方法进行调整。增加摩擦系数, 理论下滑速度减小, 反之则增大。改变摩擦系数的方法主要是加不同的油。当筒体下窜时, 在托轮表面涂抹粘度较大的油, 减小轮带与托轮表面间的摩擦系数, 以控制筒体上窜。筒体下窜时, 在托轮表面涂抹粘度小的油, 增加二者之间的摩擦系数, 控制筒体向下窜动。加油法简便, 效果明显。但当动力负荷过大, 用加油法不能控制窜动时, 需用调整托轮歪斜角的方法。

2. 调整托轮的歪斜角

托轮中心线平行于筒形安装时, 筒体会产生理论弹性下滑。为了控制筒体下窜, 在生产中把托轮调整, 使其中心线与窑中心线成一角度 β 。

托轮调整后转动时, 轮带除以 V_1 圆周速度转动外, 还在托轮歪斜的作用下, 以 V_2 的速度沿筒体中心线方向窜动, 如图8—13所示。从图上可知 V_2 与 V_1 的关系如下式:

$$V_2 = V_1 \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (8-2)$$

式中 β ——托轮中心线与窑筒体中心线的夹角(度);

V_2 ——轮带在窑筒体轴线方向分速度, (米/分);

其余符号与式(8—1)相同。

当托轮中心线与筒体中心线平时, 筒体下窜, 托轮调整后, 筒体上窜, 当这两个速度相等时, 窑体保持相对平衡和稳定。即:

$$V_2 = V_s \quad (8-3)$$

将式(8—1)和式(8—2)代入得:

$$KV_1 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{f} = V_1 \operatorname{tg} \beta$$

$$\operatorname{tg} \beta = K \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{f} \quad (8-4)$$

β 角即是为控制筒体下滑, 托轮中心线需要歪斜角度的理论值。托轮轴线需歪斜

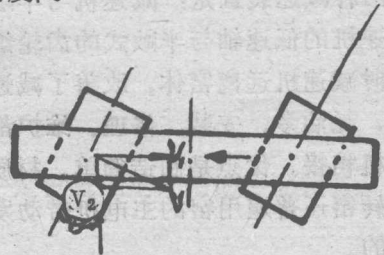


图8—13 调整托轮示意图

的方向,可根据图8—13所示基本原理确定。使托轮与轮带接触处由托轮产生的轴向分速度 V_2 与窑体需要窜动的方向一致。

8·2·2 传动装置

根据回转窑的煅烧特点,对传动装置有如下一些要求:

1. 传动比要大。回转窑是一个慢速回转的设备,一般窑速控制在0.5~1.5转/分之间,现代预分解窑转速也只有3转/分,所以要求传动速比大的装置。采用普通转速的电机时,主传动装置的传动比约500~700。

2. 要求平滑无级调整,使之有足够的调节范围。根据煅烧工艺的要求,物料在窑内完成一系列变化所需时间随原料、燃料等因素的不同有所变化,要求窑转速能根据窑内情况不同,无级调整,并要求电机具有平滑的调速特性,调整范围一般1:3~1:4。

3. 起动力矩大。回转窑常在满载情况下起动力矩,因此要求电机起动力矩为正常工作力矩的2.5倍左右。

回转窑传动装置可分为机械传动和液压传动两大类。

液压传动装置,是根据容积式液力传动原理,利用油泵压出的流体能量驱动两个油马达,带动两个与大齿轮相啮合的小齿轮传动。通过改变油马达的油量可调节窑的转速。

机械传动减速装置常见的有三种。一种是减速机传动。这种减速装置结构简单,部件少,布局紧凑,安装调整方便,传动效率高(一般可达98.5%),并且安全可靠,是目前采用较广泛的一种。

另两种减速装置是:减速机与半敞式齿轮组合传动;减速机与三角皮带组合传动。前者减速机的低速轴与半敞式的齿轮组连接,减速机的速比可减少,外形尺寸也可减小,同时减速机远离窑体,改善了减速机的工作条件,也便于检修。但它占地面积大,效率低,耗油多,安装、修理、维护都比较麻烦。后者是减速机的高速轴通过三角皮带与电动机相接。优点是制造简单,材质要求低,减震性好。缺点与前者相似。

回转窑还普遍用窑的主电机带动发电机供给喂料机的驱动电机,实现喂料与窑速同步的目的。

随着窑规格的大型化,传动功率也大为增加,现代大型窑多采用双传动系统,如图8—14所示。

有的回转窑除了有主传动系统外,还设有辅助传动系统,如图8—14所示。它是以辅助电机为动力,在主减速机与辅电机之间,设有辅减速机,与辅电机相连。由于速比增大,辅传动可使窑以非常缓慢的速度旋转。它与主传动系统分别用不同的电源或其他能源。它的作用主要是:当主电源或主电机发生故障时,定时转窑,以免筒体在高温下停转过久而造成弯曲;在砌砖或检修时能使

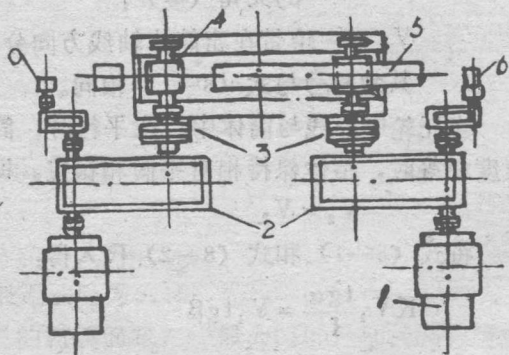


图8—14 回转窑的双传动

1—主电动机;2—主减速机;3—联轴器;
4—小齿轮;5—大齿轮;6—辅助传动装置

筒体停留在某个指定位置：回转窑启动时先用辅电机启动，可减少启动时的能量消耗。

回转窑常用的电机型式有直流电动机；绕线型转子异步电动机，电磁调速异步电动机；整流子变速异步电动机，鼠笼型多速异步电动机及鼠笼型异步电动机等。以直流电动机应用较为广泛，直流电机调速范围广，可实现平滑无级调速，起动平稳，起动性能好，有利于实现自动化操作。

回转窑所需功率可按下式计算：

$$N_0 = K_0 D_i^2 \cdot L \cdot n \quad (8-5)$$

式中 N_0 ——回转窑所需功率，(kw)；

D_i ——窑有效内径，(m)；

L ——窑的长度，(m)；

n ——窑的转速，(r·p·m)；

K_0 ——系数，干法或湿法长窑取0.048~0.056；立波尔窑或悬浮预热窑取0.045~0.048。

配用电机功率：

$$N = K N_0 \quad (8-6)$$

式中 N ——配用电机功率，(kw)；

K ——电机储备系数，一般取 $K=1.15\sim1.35$ 。

辅助传动电机功率：

$$N_1 = K_1 N_0 \frac{n_1}{n} \quad (8-7)$$

式中 N_1 ——辅助电机功率，(kw)；

n_1 ——辅助传动时，窑体转速(r·p·m)；

n ——主传动时窑体转速(r·p·m)；

K_1 ——系数，一般取1.6~2.0。

对规格较小的窑，可用其他方法慢转窑，不一定设置固定的轴助传动装置。

8·2·3 密封装置

回转窑是在负压下操作的，在筒体和固定装置连接的地方，必须设有密封装置。不然就会有大量冷风漏入窑内，影响操作。

根据回转窑的特点，对密封装置有如下几项基本要求：

1. 密封性要好。窑头处负压较小，处于零压附近，密封要求可差些。窑尾处负压较高，干法预热器窑可达150~1000帕，湿法长窑可达300~1500帕，因此密封装置应能满足这样负压下的工作要求。

2. 能适应窑体的上、下窜动，窑体温度变化时长度的伸缩以及直径的变化，悬臂端轻微弯曲变形等要求。

3. 耐高温、耐磨、结构简单、使用维修方便等。

目前常用的密封装置按原理可分为迷宫式和接触式两大类，下面介绍几种典型的密

封装置。

一、迷宫式

迷宫有径向和轴向两种(图8—15)。密封件主要由静止迷宫环和流动迷宫环构成。由于空气通过弯曲的通道,产生流体阻力,从而减少漏风量。

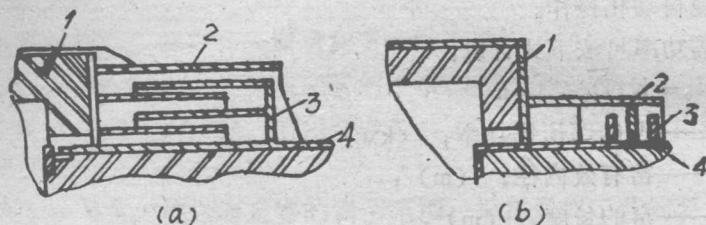


图8—15 迷宫式密封装置

a—轴向迷宫式; b—径面迷宫式

1—窑头罩; 2—固定迷宫圈; 3—旋转迷宫圈; 4—筒体

这两种型式结构简单,没有接触面,因而不存在磨损。迷宫数量越多,密封效果越好,间隙越大则密封效果越差。考虑到筒体的上下窜动,热胀冷缩等问题及制造安装误差,不论径向还是轴向,相邻迷宫圈的预留间隙都不可能太小,一般不小于20~40毫米。因而即使在迷宫数相当多的情况下,它们的密封效果还是很差的,只适用于负压不太大的场合,如窑头罩处,或者与其他密封装置联合使用。

二、接触式密封装置

接触式也可分为径向接触式和轴向接触式。

(一) 轴向接触式

如图8—16所示带有石棉绳端面摩擦式是轴向接触式的一种。它是由一系列的金属圈组成。固定圈6固定在烟室壁上,压圈4固定在固定圈上,在固定圈和压圈之中套有滑动圈3。滑圈通过支架和两个滚轮支承在烟室上,可以作轴向移动。滑圈与压圈之间

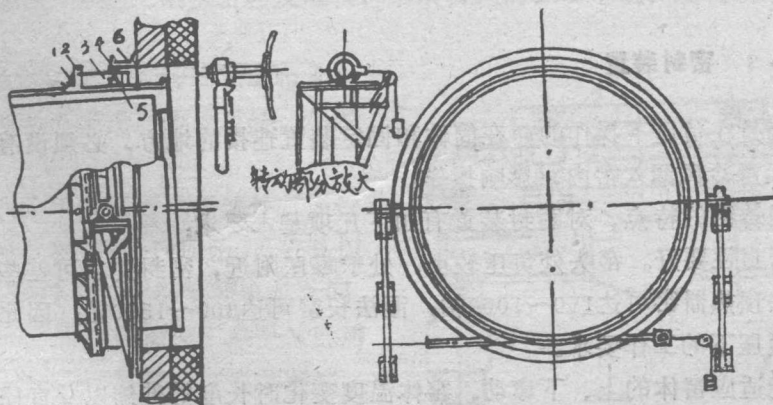


图8—16 带有石棉绳端面摩擦式密封装置

1—转动圈; 2—摩擦圈; 3—滑圈; 4—压圈; 5—石棉绳; 6—固定圈

填有石棉绳，在滑圈的一端固定有一摩擦圈2，在窑筒体上设有转动圈1，在重锤作用下，摩擦圈与转动圈紧密接触，使空气不能漏入烟室内。当窑体向上移动时，转动圈将滑圈推进烟室；当窑体向下移动时，滑圈在重锤拉力作用下，随之往下移动，始终与转动圈紧密接触，因此它能适应窑体的上下圈动和窑温变化时长度的伸缩。

这种装置密封效果好，构造简单，使用较为普遍。缺点是转动圈与摩擦圈之间磨损较为严重。使用时石棉绳要经常检查，坏了及时更换。

(二) 径向接触式

筒体和密封元件沿径向有接触面来防止气流通过的装置，称为径向接触式密封装置。作密封元件的材料目前使用的有三种：柔性的，如橡胶带、毛毡等；金属的，如铸铁、铜等；炭素的如石墨制品等。

石墨块密封装置是径向接触式的一种，常用于回转窑的窑头。其结构如图8—17所示。石墨块借助支架和弹簧紧压在筒体上，防止气流通过。由支架、垫板及挡板组成的槽固定在窑头上，石墨块的厚度略小于槽的宽度，在弹簧的压力下可以自由活动，即使窑头在不大的范围内发生旋转偏摆，也能很好地起密封作用。这种结构简单，密封性好，石墨块的检修与更换也很方便。为了延长其使用寿命，可增加石墨块硬度，适当调整弹簧拉力及保持摩擦面的清洁。

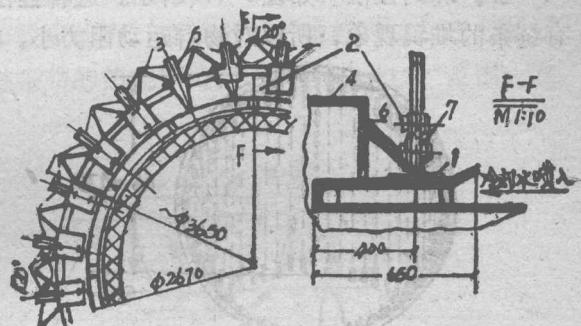


图8—17 窑头石墨密封装置

- 1—窑头水套护板；2—石墨块；3—弹簧
4—窑头；5—垫板；6—支架；7—挡板

8.3 回转窑内的热交换装置

为了增加回转窑内的传热面积，提高预热能力，达到提高产量、降低消耗的目的，常在窑内加装各种热交换装置。应用最广的是链条，也有的采用料浆过滤预热器和各种金属或陶瓷的换热器。因我国大多采用链条式换热装置，因此本节主要介绍链条式换热装置。

8.3.1 链条

链条是湿法长窑应用最广的热交换装置，挂链部分称链条带，其长度约占总窑长的20~30%。

一、链条带的作用

挂链条的主要目的是在干燥带增大传热面积，加强传热过程。当窑转动时，链条暴露在热气体中，吸收气体的热量，当链条再埋入物料中时，又将热量传给物料，使得窑的预烧能力提高。另外，链条形成链幕，还有捕集粉尘、减少飞灰损失的作用。当采用不同挂法，链条还有调节物料前进速度及在料浆塑性区破除结泥巴圈的作用。现在，也有些窑采用耐热钢链条，加长湿法窑的链条带长度，甚至有些厂在干法窑上也挂一些链

条，使链条不仅起干燥作用，也起部分预热作用。

二、链条挂法

链条的悬挂方法大致有以下几种：

1. 自由垂挂 如图8—18所示，链条的一端挂在窑体上，另一端自由垂下。链条长度为链条带有效内径的0.6~0.7倍。在链幕下方形成一个链洞。这种挂法简单，易于张挂、检修，挂链密度高，预热能力强，收尘能力也较强。这种挂法通风阻力也较小，同时破泥巴圈的能力强。缺点主要是在窑下部堆积较多，阻挡物料前进，对窑衬料磨损大。在塑性区以后的成球区易击碎料球，扬尘也较大。

2. 蛛网挂法 如图8—19所示。这种挂法主要用于捕尘，挂于窑的喂料端。由于没有链条的堆积现象，所以对物料运动阻力小。

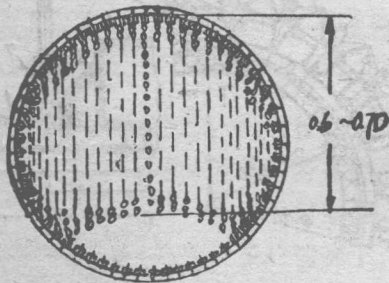


图8—18 自由垂挂

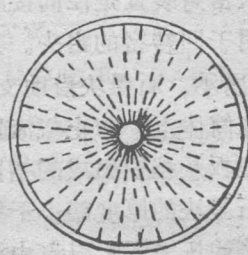


图8—19 蛛网挂法

3. 周边挂法 如图8—20所示，链条两端挂在窑体上，两端悬挂点在同一截面上，链长等于或小于对应的弧长，这种挂法由于链长较短，挂密度较低，故主要用于链条带热端，以提高窑的预热能力，对稳定窑的热工制度，提高产量，降低热耗有一定效果。

4. 花环挂法 如图8—21所示，链条两端挂在窑体不同的截面上，也不在轴 向同一直线上，两挂链点连线与轴线成一角度，形似花环。花环最低点距窑内表面高约为窑有效内径的0.3~0.4倍。

花环挂法分为热端先起和冷端先起两种挂法。当窑回转时，埋在物料中的链条先从

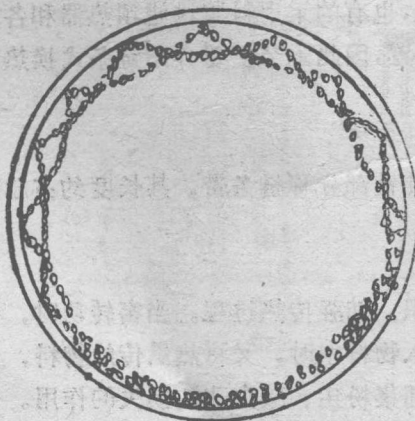


图8—20 链条的周边挂法

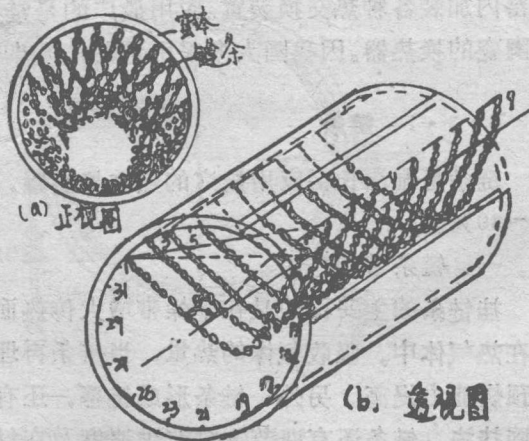


图8—21 链条的花环挂法

料层中升起的一端，若靠近窑热端的称为热端先起，若靠近喂料端，称为冷端先起。热端先起有帮助物料前进的作用，冷端先起有阻止物料前进的作用。

这种挂法的优点是：对物料有刨刮作用，可控制物料运动速度，对窑衬磨损也较小，对料球破坏作用小。缺点是结构复杂，安装维修费时，断链时易缠结，气流阻力大，挂链密度不能很高。

花环挂法的主要参数：

(1) 中心角 θ 一根链条的两端在窑横截面上的投影与窑中心线连接的夹角 θ ，称为中心角，如图8—22。中心角的大小，对链条在空间的分布，堆积情况，有很大影响，对物料的刨刮能力也起着重要作用。在其他参数不变情况下，中心角增大，链条空间部分增多，堆积部分减少，有利于增加传热和收尘能力，但减少了对物料的刨刮能力和成球能力。如中心角减小，则与上相反。在链条带的热端中心角一般在 $90\sim 120^\circ$ 范围，在塑性区一般取 60° 。

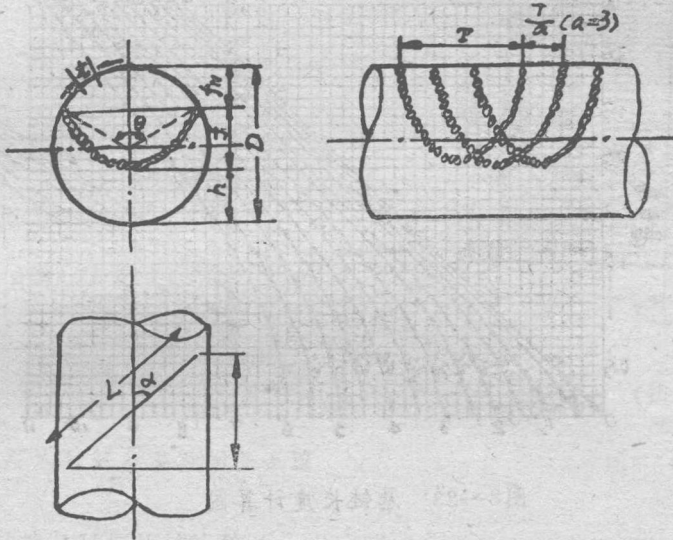


图8—22 花环挂法主要参数

(2) 斜角 α 一根链条两端连线的水平投影与窑中心线的夹角称为斜角 α 。 α 的大小与链条帮助（热端先起）或减缓（冷端先起）物料运动的能力有关， α 越大，推动物料运动的能力越小。 α 可在 $30^\circ\sim 60^\circ$ 范围内选取，一般可取 45° 。

(3) 悬垂高 f 。由悬挂点到花环最低点的垂直距离称为悬垂高 f ，可由下式计算：

$$f = \frac{D}{2} (1 + \cos \frac{\theta}{2}) - h \quad (8-8)$$

式中 f ：链条悬垂高 (m)；

D ：链条带内径 (m)；

θ ：中心角 (度)；

h ：链洞高 (m)。

(4) 跨距 T 。悬点两端沿窑长方向的距离称为跨距 T ，一般在 $(0.5\sim 1.0)D$ 之间。