

水泥工人技术丛书

# 带余热锅炉回转窑



85  
66

中国建筑工业出版社

水 泥 工 人 技 术 丛 书

---

# 带余热锅炉回转窑

本溪东方红水泥厂

中国建筑工程出版社

本书分两篇。第一篇介绍水泥回转窑的结构，窑衬的选择及镶砌，筒体中心线的校正，托轮调整，回转窑的使用与维护；第二篇介绍利用水泥生产中废气余热发电的余热锅炉设备及其运行，包括余热锅炉的结构、正常运行、事故的处理与预防、水处理与水分分析等。本书适于水泥厂回转窑、余热锅炉岗位工人和维修工人阅读，也可供带余热锅炉的冶金、化工厂余热锅炉岗位工人参考。

本书系由工人、干部和技术人员“三结合”编写组编写。初稿写出后，又邀请首都水泥厂、哈尔滨水泥厂、本溪工农兵水泥厂、锦西水泥厂、中国水泥厂、湖北建筑工业学院和首都水泥工业学校等单位有关同志进行了“三结合”审查。

水泥工人技术丛书  
带余热锅炉回转窑  
本溪东方红水泥厂

\*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

\*

开本：787×1092毫米1/32 印张：8 1/4 字数：181 千字

1977年5月第一版 1977年5月第一次印刷

印数 1—7,630册 定价：0.53元

统一书号：15040·3287

# 毛主席语录

无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。

独立自主、自力更生。

马克思主义的哲学认为，对立统一规律是宇宙的根本规律。这个规律，不论在自然界、人类社会和人们的思想中，都是普遍存在的。矛盾着的对立面又统一，又斗争，由此推动事物的运动和变化。

## 出 版 说 明

无产阶级文化大革命以来，我国水泥工业有了很大的发展，水泥厂不断增加，职工队伍迅速扩大，群众性技术革新、技术改造活动蓬勃开展。为总结交流水泥生产的技术经验，促进水泥生产技术水平的提高，我们组织编写了这套《水泥工人技术丛书》，供水泥厂岗位工人和维修工人阅读参考。

这套丛书着重总结水泥工人在生产工艺和设备操作、维修等方面的实践经验，同时介绍有关的技术革新成果，以及设备的构造、工作原理等基本知识。为便于岗位工人阅读，这套丛书将分册陆续出版。

这套丛书是由工人、干部和技术人员“三结合”编写组编写的，书稿写成后，又进行了“三结合”审查。编审人员在书稿的编审过程中以马列主义、毛泽东思想为指导，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，贯彻执行党的方针、政策，力求理论与实践相结合，使丛书内容实用、通俗易懂，切合广大水泥工人的需要。

组织编写这套丛书，得到了国家建筑材料工业总局和各省、市、自治区有关主管部门的大力支持；有关工厂、设计单位、学校为本丛书提供了技术资料 and 宝贵意见。

中国建筑工业出版社编辑部

一九七六年五月

# 目 录

引 言 .....	1
第一篇 回转窑 .....	3
第一章 回转窑的结构 .....	3
第一节 工作原理 .....	3
第二节 筒体 .....	6
第三节 支承装置 .....	15
第四节 传动装置 .....	32
第五节 密封装置 .....	44
第六节 燃烧装置 .....	54
第二章 窑衬 .....	65
第一节 窑衬的作用 .....	65
第二节 窑衬的种类及其选择 .....	66
第三节 窑衬的镶砌 .....	69
第三章 筒体中心线的校正 .....	73
第一节 经纬仪法 .....	74
第二节 压铅丝法 .....	83
第四章 托轮调整 .....	88
第一节 托轮调整基本原理 .....	89
第二节 运转中的调整 .....	93
第五章 回转窑的使用和维护 .....	101
第一节 开车前的检查 .....	101
第二节 运转中的检查 .....	103
第三节 停车注意事项 .....	105

第四节	故障及其排除与预防 .....	106
第五节	润滑 .....	109
第六节	回转窑的定期完好检查 .....	111
<b>第二篇</b>	<b>余热锅炉</b> .....	<b>115</b>
<b>第一章</b>	<b>余热锅炉的结构</b> .....	<b>115</b>
第一节	基本概念及工作原理 .....	115
第二节	锅炉基础知识 .....	118
第三节	余热锅炉本体 .....	130
第四节	汽鼓及其内部附件 .....	140
第五节	蒸汽过热器 .....	149
第六节	省煤器 .....	154
第七节	水、汽管道系统 .....	160
第八节	锅炉的附件及附属设备 .....	163
<b>第二章</b>	<b>锅炉水处理与水分析</b> .....	<b>181</b>
第一节	水处理的重要意义 .....	181
第二节	水处理设备及其运行 .....	189
第三节	水质分析方法 .....	200
<b>第三章</b>	<b>余热锅炉的运行</b> .....	<b>212</b>
第一节	锅炉机组的正常运行 .....	212
第二节	锅炉通火与停炉 .....	225
第三节	事故的处理与预防 .....	239

## 引 言

我国的水泥回转窑按入窑物料水分的不同，可分为干法、湿法、半干法三种。

干法回转窑长度和直径之比较小（一般在15~20），窑尾排出的废气温度高达750~950°C。为了利用废气的热量，一般都在窑尾设置余热利用装置。目前我国干法水泥回转窑的余热利用装置有：余热锅炉、旋风预热器和立筒预热器。

回转窑窑尾设置余热锅炉的回转窑，叫做带余热锅炉回转窑。带余热锅炉回转窑与带旋风预热器回转窑和带立筒预热器回转窑，回转窑本体的机械结构基本是相同的，其窑尾都装有余热利用装置回收热量。所不同的是余热利用的形式：带余热锅炉回转窑，将余热用来生产蒸汽进行发电；带旋风预热器回转窑和带立筒预热器回转窑，将余热用来预热物料。

干法回转窑设置余热锅炉，可以回收大量的废热。如一个年产三十万吨熟料的厂（两台回转窑），每年回收的热量就相当于烧煤四万吨，装设余热锅炉利用这些余热发电，工厂用电自给率可达80%左右，既使工厂用电问题得到基本解决，又降低了生产成本。此外，由于设置了余热锅炉，使废热得到了利用，废气温度降低到200~230°C，使排风机和烟囱的操作条件得到改善，使用寿命延长。

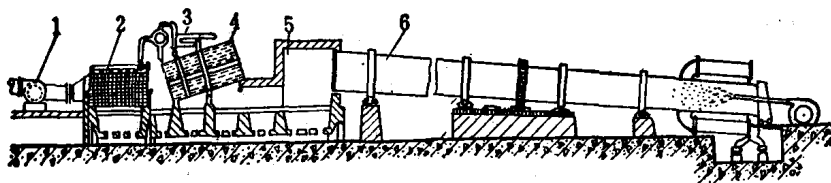
带余热锅炉回转窑，用同一个热源生产熟料和蒸汽，尽管水泥窑和锅炉本身的要求各不相同，操作互相制约，但只



要统一思想，密切配合，以窑为主，兼顾锅炉，两者的操作是可以协调统一的。

水泥生产耗电量大，带余热锅炉回转窑利用余热发电，不仅可以为国家节省燃料，而且可以基本解决水泥厂用电问题，符合增产节约、综合利用原则，对我国的社会主义建设具有重要的意义。在边远地区和无电力网地区采用带余热锅炉回转窑生产水泥，有着其他类型窑不可比拟的优越性。

带余热锅炉回转窑包括回转窑和余热锅炉两个设备或机组，如下图所示。回转窑由筒体、支承装置、传动装置、密封装置和燃烧装置所组成；余热锅炉由锅炉本体、烟室、蒸汽过热器、省煤器和其他附属设备所组成。



带余热锅炉回转窑

1—排风机；2—省煤器；3—蒸汽过热器；4—锅炉；5—烟室；6—回转窑

本书分两篇。重点介绍干法水泥回转窑（以下简称回转窑）和余热锅炉使用维修经验，以及设备的构造和工作原理等基本知识。

# 第一篇 回 转 窑

## 第一章 回转窑的结构

### 第一节 工 作 原 理

回转窑是煨烧水泥熟料的设备，在整个水泥生产中占有重要的地位。水泥生产过程可以概括为“两磨一烧”三大环节，即“磨生料”、“烧熟料”、“磨水泥”。所以，回转窑本身是水泥生产过程中的主机，其生产性能和运转情况，在很大程度上决定着水泥的质量、产量和成本。因此，水泥工人把它看做水泥厂的“心脏”。

回转窑是一个带有3~6%斜度安放在支承装置上的圆筒，由传动装置带动以每分钟0.5~1.5转的慢速旋转。

经过粉磨配合好的生料，从回转窑的窑尾均匀地加入。由于窑的转动，物料靠摩擦力的作用被带到一定高度，直到物料倾斜面的倾角（倾斜面与水平面所成的夹角）等于或大于物料的自然休止角时，物料在本身重力的作用下，沿着倾斜面滚动或滑动，随着窑的旋转倾斜作用，沿窑的轴线方向向窑头运动。物料在窑内除了轴向运动外，还有料层断面上各点沿不同半径方向按同心圆向前运动到料层表面上，即径向运动。此外料层里面的物料颗粒大小不均，又产生了混合运动。窑内物料就是这样在窑的倾斜旋转作用下，由窑尾（高端）向窑头（低端）方向运动的。

物料的运动速度，因窑各带物料的自然休止角不同及粒度、粒度、松散程度的不同也不一样。如在分解带，因有气流存在，使物料流态化，即成悬浮状态，所以运动速度较快；而在烧成带，因有液相存在，而且颗粒比较大，所以运动速度较慢。

另外，物料向前运动的快慢与窑的倾斜度大小及窑速的快慢有直接关系。窑的斜度大，物料运动得就快；窑的倾斜度一定时，窑速快，物料运动得也快。

燃料经燃烧装置从窑头前端喷出燃烧，其火焰要求形成长而发亮、具有方向性、呈毛笔形。燃料燃烧放出大量的热，使气体受热，传给物料和窑衬。通过辐射、对流和传导，物料及时吸收热量进行煅烧。物料在窑内由常温加热到 $1450^{\circ}\text{C}$ ，进行复杂的物理化学反应过程，形成硅酸三钙( $\text{C}_3\text{S}$ )、硅酸二钙( $\text{C}_2\text{S}$ )、铝酸三钙( $\text{C}_3\text{A}$ )和铁铝酸四钙( $\text{C}_4\text{AF}$ )等矿物。从外观上看，大部分已烧成 $10\sim 20$ 毫米的颗粒，称为硅酸盐水泥熟料。因此，回转窑内物料的煅烧过程就是熟料矿物的形成过程。

根据生料在窑内发生的物理和热化学反应过程的特性，一般将窑分成五个带：

#### 1. 干燥预热带：

该带物料温度的变化范围为常温至 $750^{\circ}\text{C}$ 。当温度由常温升高到 $150^{\circ}\text{C}$ 时，主要是蒸发生料中的附着水分，也称干燥带；当物料温度由 $150^{\circ}\text{C}$ 升高到 $750^{\circ}\text{C}$ 时，称为预热带。该带统称为干燥预热带，主要是迅速将物料温度升高到 $750^{\circ}\text{C}$ 。一般当物料温度升到 $500^{\circ}\text{C}$ 时，生料中的有机物发生干馏和分解，同时高岭土开始脱水，生成了无定形的偏高岭土，进而分解为活性的 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。当物料温度升高到 $750^{\circ}\text{C}$ 时，

有一部分碳酸盐分解。

### 2. 碳酸盐分解带：

该带物料温度的变化范围为750~1000°C。主要反应是碳酸钙分解。在这一带末端，分解产物之间开始产生固相反应。开始时形成低碱性铝酸盐和铁酸盐以及 $C_2S$ 。低碱性铝酸盐和铁酸盐再吸收CaO变成了高碱性的铝酸盐和铁酸盐。

### 3. 放热反应带：

该带物料温度的变化范围为1000~1300°C，主要是形成 $C_3A$ 、 $C_4AF$ 、 $C_2S$ ，并放出大量的热。这一带的末端有少量的物料开始熔融。

### 4. 烧成带：

该带物料温度的变化范围为1300~1450~1300°C。主要是将物料煅烧到部分熔融，使硅酸二钙与氧化钙化合成硅酸三钙，生成的硅酸三钙晶体迅速从液相中析出，并不断长大。在这一带，要求熟料中过剩的CaO全部被硅酸二钙吸收，因此要求物料在此带的高温下应停留足够的时间，以便进行化学反应。所以，此带也称为石灰吸收带。

### 5. 冷却带：

该带物料的温度变化在1300~1000°C范围内。主要是使熟料迅速冷却。冷凝后的圆形熟料颗粒落入冷却机中。

配合好的生料就是这样在窑内经过干燥、预热、碳酸盐分解、放热反应和煅烧等一系列的物理变化和化学反应后，烧成水泥熟料，最后经冷却带冷却，由窑头一端卸出，这样便完成了熟料的整个煅烧过程。

进行热交换后的废气，从窑尾经余热利用装置后排出。

回转窑既是燃烧设备（燃料在其中燃烧产生大量的热），又是传热设备（物料吸收气体的热量进行煅烧），同时又是

输送设备（将物料由窑尾输送到窑头卸出）。而燃料燃烧、传热及物料运动三者之间必须合理配合，使燃料燃烧产生的热量能在物料通过回转窑的时间内及时传给物料，以达到优质、高产、低耗和设备长期安全运转的目的。

## 第二节 筒 体

### 一、筒体的作用

筒体是回转窑的躯干，是回转窑的主要组成部分。筒体的直径和长度表示回转窑的规格，并标志其生产能力。

筒体靠套装上的几个轮带，倾斜座落在相应的托轮上，在接近筒体长度方向中心的地方装有大齿轮，由传动装置带动，在托轮上回转。生料煅烧成熟料的全部质变过程，都是在筒体内进行和完成的。因此，回转窑的筒体是直接煅烧熟料的部件，其余部分都是配合筒体并与其组合在一起，围绕筒体煅烧熟料而发挥其作用的。

筒体内由生料转化为熟料的化学反应，是在高温下进行的。为保护筒体不被烧坏，在筒体内表面镶砌着耐火砖（也称窑衬）。生产实践表明，回转窑运转率高低，主要决定于耐火砖寿命。因为其他零部件与窑衬相比，有较长的寿命，一般都能使用多年。干法水泥回转窑烧成带窑衬的寿命，一般最长也不超过 200 天。生产实践表明，回转窑窑衬寿命的长短除取决于耐火砖及其镶砌质量、原料性能以及工艺操作外，还与筒体的弯曲变形和径向变形，特别是筒体的径向变形，有直接的关系。

另外，就生产中回转窑发生的轮带裂纹、托轮断轴、掉砖红窑以及电机过负荷等事故来看，主要是由于筒体不“直”

和不“圆”造成的。因此，为了保证回转窑长期安全运转，降低功率消耗，提高设备运转率，在机械结构方面，首要的条件是要保持筒体“直而圆”的几何形状。

## 二、筒体的结构

回转窑的筒体靠数个轮带支承在托轮上。由于回转窑筒体在本身自重、煅烧的物料、耐火砖等重量作用下，两挡轮带之间的筒体产生轴向弯曲、轮带处的筒体产生横截面的径向变形，为确保筒体“直而圆”的几何形状，要求筒体具有一定的强度和刚度。因此，筒体钢板应有足够的厚度。

回转窑的筒体钢板的厚度，由窑的规格和钢板材质而定。我国干法水泥回转窑，直径多半在 $\phi 2\sim 3.7$ 米，长度30~70米，通常采用18~28毫米厚的钢板（也有的厚达40~50毫米）制成。筒体上在装有大齿轮、轮带及冷却筒的地方，受力较大，必须选用厚钢板或装设加固盖板。

回转窑筒体一般用普通3号钢板，卷制连接而成。筒体的横向连接和节与节的纵向连接，有焊接和铆接两种。我国现有的干法水泥回转窑的筒体，原来大多数都是铆接，以后又改为焊接和铆接并用的结构。铆接筒体的横向盖板和纵向盖板，一般选用的钢板要比筒体钢板厚2~3毫米，扩大带的锥体部分钢板的厚度，要与扩大带部分筒体钢板厚度相同。铆接筒体的纵向连接板的宽度，根据需要而定。一般在400~700毫米之间，每块盖板上要有6~8排铆钉，铆钉的直径一般是25~32毫米。

回转窑的筒体，一般都由数十节组成，为了使装配后的筒体保持“直而圆”，在制造时，必须首先保持每个小节的圆度和两端与轴线的垂直度。

在少数干法水泥回转窑筒体上，为了检修时来回送料方

便，减少麻烦和在窑内结圈时便于捅圈，有的在烧成带设有入孔。

在回转窑的窑头和窑尾端部，设有由若干块铸铁组成的挡料圈，其作用主要是保护筒体端部不被烧坏和防止溢料。挡料圈主要有两种结构形式：带单筒冷却机回转窑的挡料圈为扇形结构，外面砌有耐火混凝土，形成凸台，如图1-1-1、图1-1-2所示；带多筒冷却机回转窑的挡料圈结构本身即有凸台，如图1-1-3、图1-1-4所示。单筒冷却机出料端设置挡料圈，还可提高二次空气的温度。

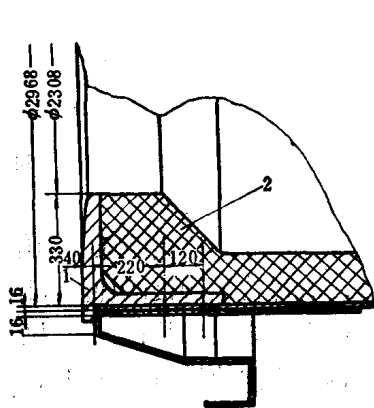


图 1-1-1 带单筒冷却机回转窑窑头挡料圈

1—挡料圈，2—耐火混凝土

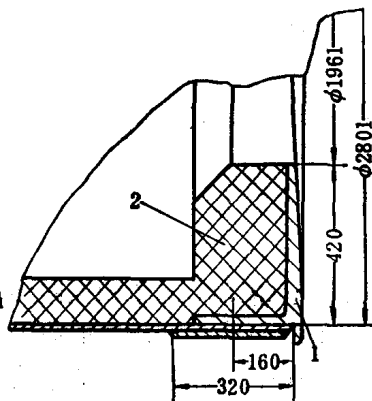


图 1-1-2 带单筒冷却机回转窑窑尾挡料圈

1—挡料圈，2—耐火混凝土

### 三、温度变化对筒体尺寸的影响

运转着的水泥回转窑的筒体，由于物料在其中进行燃烧，所以，筒体是很热的，以烧成带温度为最高。由窑头向窑尾温度逐渐降低。某厂  $\phi 3.7/3.3 \times 70$  米干法水泥窑的筒体温度图，如图1-1-5所示。

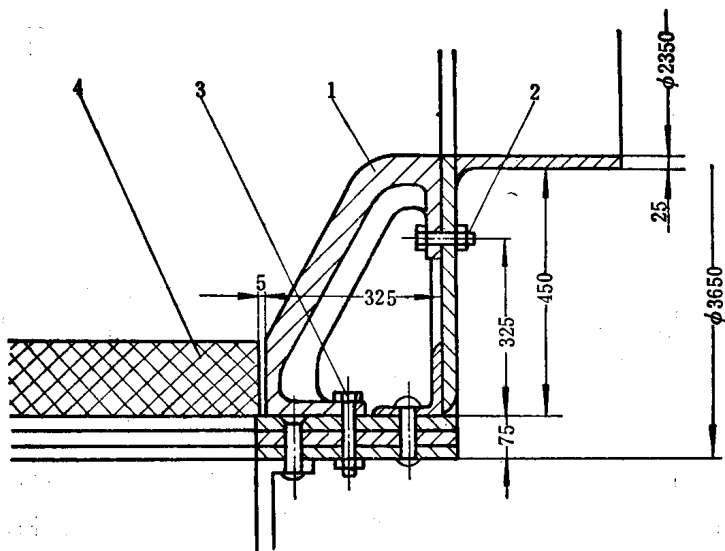


图 1-1-3 带多筒冷却机回转窑窑头挡料圈

1—挡料圈；2、3—连接螺栓；4—方铁套

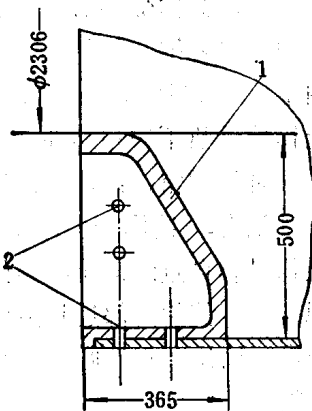


图 1-1-4 带多筒冷却机回转窑窑尾挡料圈

1—挡料圈；2—连接螺栓孔



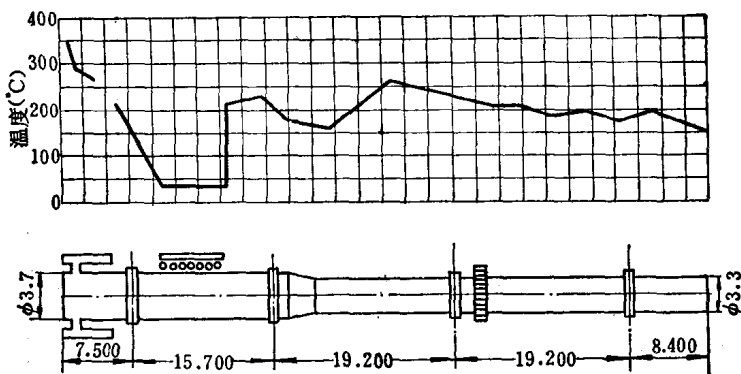


图 1-1-5  $\phi 3.7/3.3 \times 70$ 米窑筒体温度图

运转着的窑的筒体的长度和直径要比常温状态下的筒体有所伸长和扩大。当窑筒体伸长的时候，筒体上的轮带和托轮、大小齿轮、窑头和窑尾密封装置等零件的相对位置，都要改变。因此，在设计 and 安装时，必须考虑到这些因素。

根据生产实践经验，筒体受热后，大小齿轮要膨胀，一般大小齿轮的齿顶间隙取标准间隙加10毫米。

回转窑在使用中，为保持筒体的“直而圆”的几何形状，必须注意防止筒体受热不均和局部过热。

点火时，如不按时间转窑，筒体一面较另一面温度高，该部分筒体的伸长量就大，筒体产生弯曲变形；突然停窑时，由于下部高温物料和自重的影响，筒体也要发生弯曲变形，耐火砖局部脱落时，筒体局部过热造成凹凸不平。这些现象的发生，都会影响筒体“直而圆”的几何形状和强度，缩短筒体的使用年限，造成传动装置过负荷等。

#### 四、筒体结构的发展

过去无论是设计或生产中，一直把筒体的轴向弯曲变形