

回转窑

(设计、使用与维修)

冶金工业出版社

回 转 窑

(设计、使用与维修)

《回转窑》编写组 编

冶金工业出版社

回 转 窑
(设计、使用与维修)
《回转窑》编写组 编

*

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32^{*} 印张 8 1/4 字数 218 千字

1978年5月第一版 1978年5月第一次印刷

印数 00,001~7,500 册

统一书号: 15062·3341 定价:(科三) 0.79 元

前 言

在毛主席的伟大旗帜指引下，在华主席为首的党中央的英明领导下，我国社会主义革命深入发展，社会主义建设蒸蒸日上。我国冶金工业也有了很大的发展。冶金战线广大职工以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，高举“鞍钢宪法”光辉旗帜，开展“工业学大庆”的群众运动，为在本世纪内把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的社会主义强国而努力奋斗。

为适应冶金工业发展的需要，使广大工人、技术人员和大专院校师生对回转窑有更加深入的了解，对生产厂革新、挖潜、改造和新厂建设工作有所帮助，我们编写了《回转窑》（设计、使用与维修）一书。

回转窑是很多冶金工厂和其它工厂的主要设备。本书较全面地介绍了有色冶金企业回转窑的设备结构、材料、设计计算方法和使用、维修经验，对与回转窑相似的单筒冷却机、转筒干燥机也作了一些论述。本书立足于国内，叙述了我国广大工人和技术人员在回转窑设计、使用和维修方面的丰富经验和革新成果。内容力求成熟可靠，概念准确。对一些发展中的课题，作了简要说明。为达到简明扼要、通俗易懂，省略了一些公式的推导过程，对设计计算最常用的公式，作出了数表和算图。附录中提供了设计计算的实例。本书还编入了外加热回转管的部分内容。

参加本书编写工作的有：沈阳铝镁设计院厉衡隆（执笔）、高杰三、李文德、李富增，长沙有色冶金设计院连永章、赵健秋，贵阳铝镁设计院吴靖华、关世儒。编写过程中，进行了现场调查研究，征求了各方面的意见，对结构参数作了统计分析。后来还召开了有使用厂、制造厂、设计研究院和大专院校等单位的工人、干部、技术人员、教师参加的“三结合”初稿审查会议。根

33338

据会议提供的意见作了修改与补充。本书在编写过程中得到许多兄弟单位的指导和帮助，在此表示衷心感谢。

由于我们政治、技术水平有限，经验不足，书中一定会存在不少问题，希望广大读者批评指正。

《回转窑》编写组

1977年1月

目 录

第一章 概论	1
第一节 回转窑简介	1
第二节 回转窑在有色冶金工厂的使用	9
第三节 规格参数的确定	16
第二章 筒体	30
第一节 筒体总体结构组成	31
第二节 筒体载荷计算	45
第三节 筒体弯矩与应力计算	51
第四节 筒体变形计算	68
第五节 筒体安装尺寸计算	72
第六节 筒体轴线的测量与找正	75
第三章 滚圈	82
第一节 滚圈结构型式	82
第二节 滚圈的设计与计算	87
第四章 支承装置	101
第一节 支承装置结构型式	101
第二节 托轮的调整	106
第三节 支承装置受力分析	111
第四节 托轮与轴承的设计	115
第五节 挡轮与轴承的设计	136
第六节 液压挡轮	139
第五章 传动装置	145
第一节 传动型式与电动机选型	145
第二节 传动功率计算	152
第三节 传动参数选择与减速器	161
第四节 传动件设计	164
第五节 回转窑部件的润滑	172

第六章 窑内换热装置与窑衬	176
第一节 回转窑换热装置	176
第二节 冷却机换热装置	181
第三节 窑衬	188
第七章 窑头窑尾各种装置	198
第一节 窑头罩与窑尾罩	198
第二节 燃烧器	206
第三节 密封装置	209
附录一 回转窑热工数据	220
附录二 窑筒体参数	226
附录三 窑长径比与挡数比较	228
附录四 制造安装基本技术要求	229
附录五 回转窑检修限度	235
附录六 回转窑设计计算举例	239

第一章 概 论

第一节 回转窑简介

一、回转窑的组成与分类

1. 回转窑的组成

回转窑是对散状或浆状物料进行加热处理的热工设备，问世已逾百年。回转窑广泛用于有色冶金、黑色冶金、耐火材料、水泥、化工和造纸等工业部门。

回转窑的外形与结构组成见图1—1。

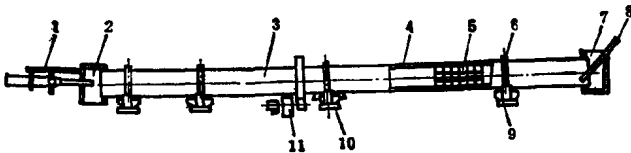


图 1—1 回转窑简图

1—燃烧器；2—窑头罩；3—筒体；4—窑衬；5—热交换器；6—滚圈；7—窑尾罩；8—喂料装置；9—支承装置；10—带挡轮支承装置；11—传动装置

回转窑属于回转圆筒类设备。筒体内有耐火砖衬及换热装置，以低速回转。物料与热烟气一般为逆流换热，物料从窑的高端（又称冷端或窑尾端）加入。由于筒体倾斜安装，在回转时，窑内物料在沿周向翻滚的同时沿轴向移动。燃烧器在低端（又称热端或窑头端）喷入燃料，烟气由高端排出。物料在移动过程中得到加热，经过物理与化学变化，成为合格产品从低端卸出。

回转窑一般由下列九部分组成：

(1) 筒体与窑衬

筒体由钢板卷成，是物料完成物理与化学变化的容器，因而是回转窑的基体。窑内物料温度可达1450°C以上，故筒体内均砌筑耐火材料（即窑衬），起保护筒体和减少散热的作用。按照物料的变化过程，筒体内划分成各工作带，如烘干带、预热带、分解带、烧成带（或反应带）、冷却带等。工作带的种类和长度随物料的化学反应及处理方法而异。

由支承的需要，筒体又分成若干跨。

（2）换热装置

为增强换热效果，筒体内往往还设有各种换热装置，如链条、格板式热交换器等。

（3）滚圈

筒体、窑衬、物料等所有回转部分的重量通过滚圈传到支承装置上。滚圈传递可达几百吨重的载荷，其本身的重量也可达到几十吨，是回转窑最重的零件。

（4）支承装置

它承受回转部分的全部重量，由一对托轮轴承组和一个大底座组成。一对托轮支承着滚圈，既允许筒体自由转动，又向基础传递了巨大的荷重。

支承装置的套数称为窑的挡数，一般有2~7挡。在其中一挡或几挡支承装置上装有挡轮，称为带挡轮支承装置。挡轮的作用是限制或控制窑回转部分的轴向窜动。

（5）传动装置

它的作用是通过设在筒体中部的齿圈使筒体回转。齿圈用弹簧板安装在筒体上。由于操作和维修的需要，较大的窑还设有使窑以极低转速转动的辅助传动。

（6）窑头罩

它是连接窑头端与流程中下道工序设备（如冷却机）的中间体。燃烧器及燃烧所需空气经过窑头罩入窑。这里是看火工进行生产操作的地点，因此窑头罩上设有看火孔及检修门。

窑头罩内也砌有耐火材料。在静止的窑头罩与回转的筒体间

有密封装置，称窑头密封。

(7) 燃烧器

回转窑的燃烧器大多从筒体窑头端插入，通过火焰辐射将物料加热到需要的温度。燃烧器有喷煤管、油喷枪、煤气喷嘴等，因燃料而异。

当反应温度较低时，在窑头罩旁另设燃烧室，将热烟气通入窑内来供给热量。

外热窑是在筒体外砌燃烧室，对物料进行间接加热。

(8) 窑尾罩

它是连接窑尾端与物料预处理设备以及烟气处理设备的中间体。烟气经窑尾罩排出而入烟道及收尘系统。物料由喂料设备直接喂入窑的尾部，对于带有外部换热装置的窑，则经换热装置处理后经窑尾罩入窑。

窑尾罩内也砌有耐火、保温材料。在静止的窑尾罩与回转的筒体间有密封装置，称窑尾密封。

(9) 喂料设备

它是回转窑的附属设备。根据物料入窑形态来选用喂料设备。干的粉料（包括窑灰）或块状料由螺旋喂入或经溜管、溜槽溜入。含水分40%左右的水泥生料浆用勺式喂料机舀入流槽流入窑内。水分相似的碱石灰铝矿料浆用喷枪在压力下雾化后喷入窑内。呈过滤机滤饼形态的湿氢氧化铝一类物料，可用板式喂料机、螺旋喂料机喂入窑内。对喂料的要求是稳定、均匀、容易控制，以便配合窑的操作。一般用变速电动机驱动来调节喂料量。

回转窑的基本参数有：直径（筒体内径），长度，安装斜度，转速，产能，热耗以及所需传动功率。

在进行回转窑设计之前，必须掌握下列工艺资料：所处理物料的种类、状态（尤其是水分含量），相适应的喂料方法，处理物料的要求（温度、物理、化学变化），对窑产能及其波动范围的要求，窑灰入窑的位置（窑尾还是窑中），燃料的种类及耗量等。

回转窑的机构组成比较简单，一目了然。但由于回转窑形大体重，而且还要转动，给设计、制造、安装带来了一些问题。设计中必需考虑大型零部件的制造、运输和安装条件，尤其是直径4米以上的窑，往往会受到很多限制。人们在解决矛盾的过程中，使回转窑不断发展。

2. 回转窑的分类

回转窑可以从不同角度进行分类。

(1) 按喂料方法分 根据入窑的物料是否带附着水，分干法窑和湿法窑。湿法窑还可分为流入法和喷入法。干生料制成球（含水12~14%）经炉篦子加热机（又称链篦机）煨烧后入窑的方法俗称“半干法”。氧化铝焙烧窑的原料氢氧化铝含附着水12~18%，亦可称半干法。

(2) 按长径比 $\frac{L}{D}$ 分 长径比是划分长窑和短窑的依据。

一般干法窑内工作带数量少， $\frac{L}{D} \leq 16$ ，为短窑。湿法窑一般为长窑， $\frac{L}{D} = 30 \sim 42$ 。喷入法窑内烘干过程缩短， $\frac{L}{D} = 20 \sim 25$ ，介于两者之间。

(3) 按窑型分 按筒体的几何形状，分为直筒窑、冷端扩大窑、热端扩大窑、烧成带扩大窑和两端扩大窑（哑铃窑）等。

(4) 按物料冷却方式分 在筒体热端固定有多个冷却筒时，称为带多筒冷却机窑，以区别于另设冷却机的窑。

窑和冷却机合一可简化工艺配置，降低窑的安装高度，缺点是冷却效率低，受物料块度限制，一度仅用于中小窑。1965年以后丹麦史密斯公司改进了结构和材料，制造了日产2500~4000吨水泥熟料的大型多筒冷却机窑。

(5) 按加热方式分 可分为内热窑与外热窑。多数窑是内热窑。在有色冶金和化工工厂中，当处理物料为剧毒物或要求烟气浓度高及产品纯度高时，还使用外热式回转窑，用电热丝或重

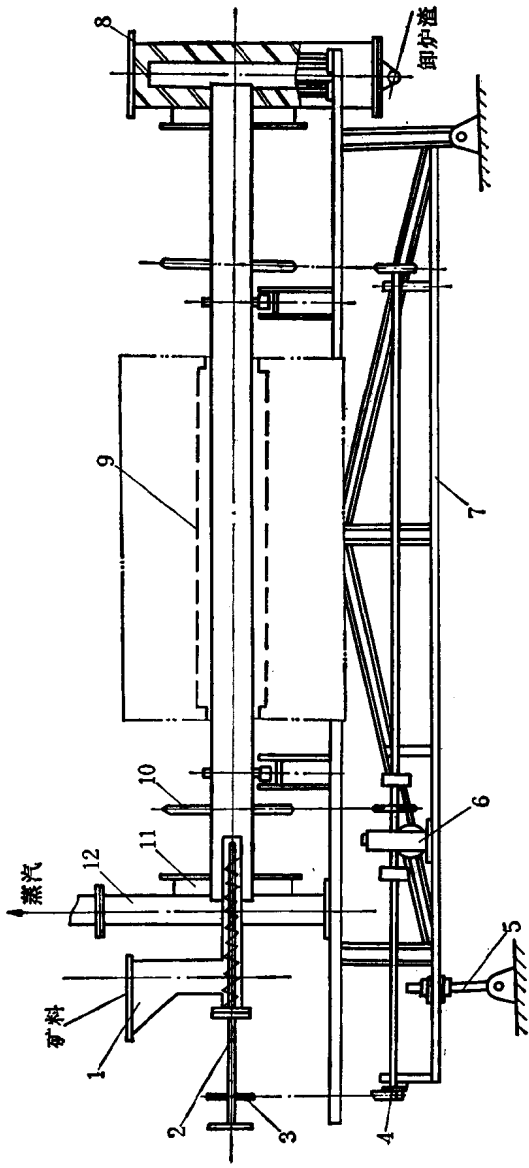


图 1—2 斜度可调式外热回转窑(管)

- 1—料斗；2—螺旋喂料机；3—棘轮机构；4—偏心轮；5—调节螺
- 杆；6—电动机、减速器；7—钢架；8—窑尾部分；9—电热丝；
- 10—链轮；11—密封圈；12—排汽室

油在筒体外对物料进行间接加热。其直径一般较小，所以也称为回转管。有的把整个窑系统安装在一个大钢架上（图1—2），以便在生产中调节窑的斜度。

制碱厂还有用沿圆周排列的蒸汽列管对物料进行间接加热的蒸汽煅烧窑。有的铁矿石磁化焙烧窑通过窑体上很多孔向窑内补充燃料作为热源。

国外还根据窑尾所配外部换热装置型式的不同，在名称上有所区分。如“立波尔（Lepol）窑”是指带炉篦子加热机的窑，“洪堡（Humboldt）窑”、“多波尔（Dopol）窑”、“维达格（Wedag）窑”是指各种带旋风热交换器的窑。还有带立筒型悬浮预热器的“立筒（克虏伯）窑”和带料浆蒸发机的窑等。近年来，窑的变化主要是各种预热器的变化，这些变化取决于工艺流程。

尽管窑的类别多种多样，尽管窑的规格已发展到直径7.6米，长232米，但其由筒体、滚圈、托轮、齿圈为特征的基本组成却没有什麼变化。

二、单筒冷却机简介

1. 冷却机的作用

回转窑产生的高温物料往往需经冷却机冷却到一定温度，方可进行输送、贮存和进行下一步处理。根据需要，冷却机又可将高温物料携带的大量热量用空气来回收，使入窑的助燃空气预热到较高温度，以强化煅烧，降低热耗。

冷却机的类型也是多种多样的，除了回转圆筒类的单筒冷却机和上面提到的多筒冷却机外，还有适用于块状物料的各种篦式冷却机（推动篦式、回转篦式、振动篦式）环形冷却机，立式（立窑式）冷却机以及适用于粉状物料的沸腾冷却器和旋风冷却器等。

2. 单筒冷却机的组成

与回转窑一样，单筒冷却机也有筒体、衬砖、滚圈、托轮挡轮支承装置和齿圈式传动装置，机头机尾根据需要配有进料装置

及出料罩，各处有必要的密封装置。其不同点是，主要换热装置为扬料板。扬料板使物料幕在筒体截面内均匀分布，以利于与通过的气流进行换热。为增强冷却效果，可在筒体外部淋水。

多筒冷却机的每个筒内与单筒冷却机是一样的。每个筒通过两个支点与窑筒体固紧。物料从窑筒体冷却带上的出料口进入冷却筒。按物料进入冷却筒后的流向是否转向，多筒冷却机可分为顺流式和逆流式（见图1—3）。

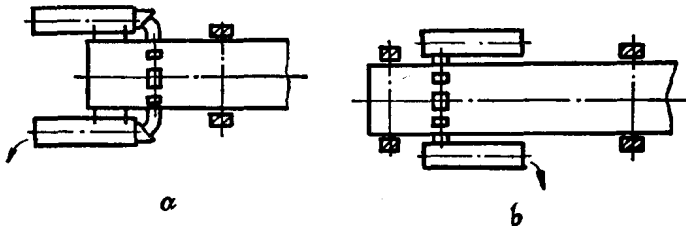


图 1—3 多筒冷却机的方位

a—顺流式；b—逆流式

单筒冷却机普遍存在的问题是冷却效果差，水耗量大，扬料板和筒体磨损快。但由于单筒冷却机具有对物料适应性广，不存在篦式冷却机的多余含尘风量问题，在配合有色冶金窑的使用中仍占一定地位。目前，国外最大的单筒冷却机为 $\phi 4.4/4.8/4.4 \times 46$ 米，用于2000吨/日的水泥窑。







三、圆筒干燥机简介

圆筒干燥机是重有色冶炼厂使用较广的干燥设备，其结构和单筒冷却机基本上相同。干燥介质是高温烟气，常由专设的燃烧室产生，或者利用其它冶金炉的废气。

干燥机按传热方式的不同可分为以下三种型式：直接传热、间接传热和复式传热。

直接传热干燥机是高温烟气与物料在筒体内直接接触。按烟气和物料流向的不同，又可分为顺流干燥和逆流干燥两种型式。顺流式适用于初水分高的物料。逆流式传热效率高，但因干料与高温气体接触，对于有温度限制的物料不宜选用。

表 1-1 圆筒干燥机的内部结构

结构型式	单筒式		双筒式	扇形		蜂巢式
图 形						
适用物料	松散性物料	粘性物料	不直接接触高温的物料, 如煤	比重较大的块状物料	粘性较大的物料	易产生粉尘的物料
结构特点和优缺点	结构简单, 维修方便		热烟气与物料不直接接触, 传热效率较低	物料在筒体截面上分布较均匀, 传动功率较小, 清理和维修较不方便	在扬料板上加挂链条, 以击碎物料的粘块	物料分布均匀, 磨损较小, 传动功率小, 但清理和维修较困难

间接传热干燥机又称双筒式干燥机。热烟气从中心套筒内通过，热量通过中心套筒间接传给物料，因而传热效率低。这种型式适用于不宜与高温烟气直接接触的物料。

复式传热干燥机也是双筒式。热气体从中心套筒通过后，再由套筒外返回与物料直接接触，传热效率较直接传热差。这种干燥机适用于烘干烟煤，不致使煤在干燥过程中失去挥发分或着火、爆炸。

圆筒干燥机内部设有各种换热装置，以提高传热效率。各种结构的干燥机及其适用范围见表1-1。

在处理易粘结的物料时，还可在筒体外设锤式振打装置，使粘着于筒壁的物料脱落，也可以用大量返料来控制水分。

圆筒干燥机的优点是对各种物料适应性广，操作简便；缺点是热效率低，一般都在50%以下。

第二节 回转窑在有色冶金工厂的使用

回转窑在一些有色金属生产中占有重要的地位，这种设备用来对矿石、精矿、中间产物进行烧结、焙烧等加热处理。窑的大小是工厂生产能力的主要标志之一。随着我国有色冶金工业的蓬勃发展，对回转窑的需要越来越多，规格越来越大。

铝冶炼的第一步是生产氧化铝。在烧结法生产氧化铝的流程中，首先要将由铝土矿、石灰、碱等原料配制成的生料烧结成熟料。烧结过程是在回转窑中进行的，烧成温度 1300°C 左右。生产氧化铝的最后一道工序是将氢氧化铝焙烧成氧化铝，目前一般也是采用回转窑，焙烧温度 $1200\sim 1250^{\circ}\text{C}$ （本书中的反应温度均指物料温度。用于加热的窑气的温度比它还要高出 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ）。

在用氧化铝作原料，以熔盐电解法生产金属铝，以及电炉炼钢和某些冶金、化工生产过程中，需要阳极糊（或炭块）、电极糊、电极（棒）、阳极板等炭素制品。炭素制品生产中，要对原料（如石油焦、冶金焦、延迟焦、沥青焦、无烟煤）在 $1100\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 及无氧气的条件下进行煅烧，以排除水分、挥发分，使结

构更加密实，真比重加大，增强热稳定性、抗氧化性、机械强度、导电性和导热性等。这一过程可在回转窑内完成。由于挥发分等的燃烧，使废气温度很高，一般用废热锅炉回收热量。

电解铝过程中，还需要冰晶石 (Na_3AlF_6)、氟化铝 (AlF_3)、氟化钠 (NaF) 等氟化盐材料作熔剂。生产氟化盐首先用硫酸和萤石 (CaF_2) 为原料制取氟化氢，它也是在回转窑——内热窑或外热窑内进行的。对各种氟化盐制品及炉渣石膏进行干燥也是用干燥（回转）窑。

此外，氧化铝生产废弃的大量残渣——赤泥，主要用于生产赤泥水泥。因而烧结法氧化铝厂往往附设一个较大规模的赤泥水泥厂，也用回转窑。

用难选氧化铜矿石生产铜的一段离析法中，矿石经干燥、细碎配以1.8~2%氯化钠及3.5~4%烟煤粉加入回转窑内。离析反应带温度约800°C，料层中的煤粉部分燃烧造成微还原性气氛，矿石中的氧化铜离析成为金属铜被吸附于炭粒的表面。离析产物进入水淬流槽冷却后送磨矿浮选车间进行浮选。

处理含铜尾矿的氨浸法，首先用回转窑对干燥后的尾矿进行还原焙烧。物料配入5%煤粉作还原剂。在750~850°C的强还原性气氛中，矿物结构改变，结合氧化铜分解为金属铜和游离氧化铜。获得的焙砂与回收烟尘一起送氨浸。

湿法炼锌时，所产出的浸出过滤渣含有20%左右的锌和一些有价值金属，通常采用回转窑挥发处理。鼓风机炼铅的水淬渣中，当锌铅的总含量小于26%，铅的含量小于6%时，也可用回转窑挥发处理。浸出渣先经干燥，配入40~50%焦粉还原剂。在1000~1150°C下，炉料中的铅、锌氧化物被炭还原成金属蒸汽而挥发，进入气相后又氧化。氧化物烟尘由收尘设备捕集，返回浸出。窑内温度主要靠焦粉燃烧来维持，另加煤气、重油或粉煤燃料，以补不足。对于难以直接浮选的低品位氧化锌矿石，也可用回转窑作挥发焙烧处理。

在锡冶炼过程中，对粗锡加热熔析所产出的残渣（熔析渣）