

热工机械设计大纲

焦作工学院资源与材料工程系

二 0 0 0 年 三 月

绪 言

《窑炉课程设计》是无机材料专业及材料工程专业学生的必修课程，它是在学生学习《硅酸盐工业热工基础》和《硅酸盐工业热工设备》两门课的基础上进行的。它可全面衡量学生对上述两门课的掌握程度，锻炼学生解决实际生产问题的能力，是毕业设计前的一次模拟设计。

指导书共分水泥窑炉和陶瓷窑炉两部分，其中水泥部分包括烘干机和机械立窑两种热工设备，陶瓷部分包括连续窑、辊底窑、推板窑和间歇式窑四种热工设备，各种窑炉的选型计算在本书都做了较详细的论述，但由于时间仓促，仍有不完善之处，还需同学们在设计过程中进一步去补充，以使之更加完善。

窑炉课程设计的最后资料应包括设计说明书和设计图纸，其中设计说明书应详细阐述各种热工窑炉的选型计算过程，图纸应能反映出窑炉的内部及外型结构，必要时可画出局部放大和安装基础图。

希望通过窑炉课程设计使学生掌握设计工作的一般方法，为其后将要进行的毕业设计打下基础。

焦作工学院材料科学与工程教研室

二〇〇〇年元月

目 录

第一部分 水泥窑炉

烘干机的设计	(1)
§1 烘干方法及设备	(1)
一、物料的含水量	(1)
二、烘干方法及设备	(1)
§2 筒式烘干机选型计算	(3)
机械立窑的设计	(10)
一、机械立窑的型式、规格	(10)
二、机械立窑的煅烧方法	(12)
三、机械立窑喂料配煤系统	(13)
四、机械立窑的成球工艺	(13)
五、机械立窑的工艺参数及计算	(14)
六、机械立窑的除尘、鼓风及消声	(16)
七、机械立窑的火砖设计	(18)

第二部分 陶瓷窑炉

窑炉课程设计指导书	(21)
一、课程设计的目的与任务	(21)
二、课程设计的基本要求	(21)
三、设计内容	(21)
四、设计说明书书写内容	(22)
五、课程设计的深度与广度	(25)
六、设计时间分析安排	(25)
七、设计窑型	(25)
八、图纸部分	(25)
I 连续式窑	(26)
一、设计任务	(26)
二、原始数据	(26)
II 辊底窑	(33)
一、设计任务	(33)
二、原始数据	(33)
III 推板窑设计	(37)
一、原始数据	(37)
II 间歇式窑	(39)
一、窑体	(39)
二、燃烧设备的计算	(39)
三、排烟设备的计算	(41)
四、窑体用砖及加固结构	(42)

烘干机的设计

生产水泥所用粘土、矿渣等原料，均含有一定量的水，在进行生产时，要根据原料含水量的大小，采用在入磨前用烘干机进行烘干或用烘干兼粉磨的磨机在粉磨过程进行烘干的方法，以控制生料含水量 $<1.0\%$ ，满足粉磨和均化的要求。

§1 烘干方法及设备

一、物料的含水量

各种原料的含水量随地区、气候、季节等条件不同有较大差别。一般情况石灰石含水 $<1.0\%$ ，可不必烘干。但当石灰石含有剥离土、裂隙土时，其含水量高达 $5\sim8\%$ ，这时就要烘干石灰石。粘土、矿渣含水量分别为 $12\sim30\%$ 、 $15\sim30\%$ 。因此必须烘干。铁粉含水 $10\sim25\%$ ，煤含水 $6\sim12\%$ ，在生产中是否要烘干，可根据具体情况定。

二、烘干方法及设备

烘干是物料与热气体直接进行热交换，从而将物料表面的水分蒸发的过程。其烘干热耗和烘干速率决定于物料品质，含水量烘干设备的性能。

1、烘干方法：

水泥厂常用烘干方法有两种：单独烘干设备，在物料入磨前进行烘干（预烘干），烘干兼粉磨设备，在粉磨过程中进行烘干，烘干兼粉磨的方法对物料水分有一定限制，所以，前者常用。

2、设备：

水泥厂常用预烘干设备有筒式烘干机、重力式烘干机、流态烘干机、沸腾烘干机、多层圆盘烘干机等。目前使用最多的是筒式烘干机。

(1) 筒式烘干机：

筒式烘干机分顺流式（物料在烘干机内运动方向与烟气方向一致）和逆流式（物料在烘干机内运动方向与烟气方向相反），它们的温度变化如下：

在水泥厂中，以顺流式居多，因为它有以下特点：①热交换过程迅速，大量水易被蒸发；②粘性物料被烘干后可减少粘结，有利于物料运动；③顺流式热端负压低，能减少烘干机漏风量，有利于稳定烘干机内热气体温度和流速；④喂料与供煤同在烘干机一端，车间布置方便；⑤出料温度低，可用胶带机输送；⑥粉尘多。

筒式烘干机内部扬料装置类型，如图1。

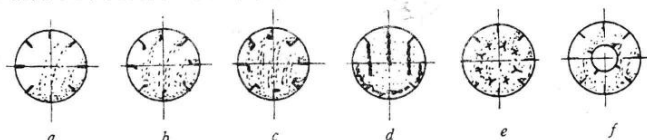


图1 筒式烘干机内部扬料装置结构型式

(a) 犁型；(b) 直板型；(c) 槽型；(d) 高槽型；(e)、(f) 套筒型

- (a) (b) 适于烘干粘性物料
 (c) (d) 适于烘干松散型物料, (d) 热效率高
 (e) 适于烘干烟煤, 立窑厂可用
 (2) 重力式烘干机:

结构如图 2:

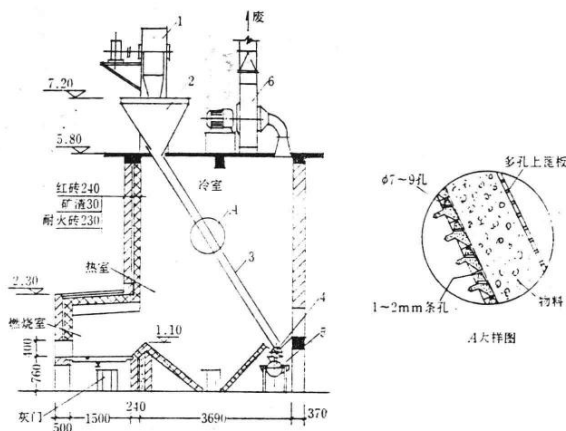


图 2 重力式烘干机示意图

1-提升机; 2-料斗; 3-倾斜斜板; 4-卸料装置; 5-输送机; 6-排风机

这种烘干机工艺简单, 投资省, 热效率高, 可烘干粘性不大的各种块粒状物料, 适于产量小的立窑水泥厂使用。

(3) 流态式烘干机: 结构如图 3, 这种流态式烘干机是利用固定多孔蓖床, 使床面物料流态化而直接进行热交换的烘干设备, 有单层床式和双层床式两种。能正常操作的流态化烘干机热效率高, 但当烘干物料品种、水分、粒度变化较大时, 不宜采用这种设备。

(4) 多层圆盘式烘干机: 结构如图 4, 这种流态式烘干机的外形即砖砌塔体呈圆形, 在塔中心装有一根下悬的传动轴, 轴上固定多层圆盘和扬料刮板, 它们与固定在塔体内壁的、数量相同的环形板相间排列。物料从塔顶加入, 经第一层圆盘溜到第一层环形板, 被传动轴上的扬料刮板刮下, 流到第二层圆盘, 再溜到第二层环形板上, 又被刮下, 如此逐层往下扬料, 延长了物料在塔内的停留时间。底部燃烧室烟气逆流而上, 将逐层下溜的物料烘干。这种型式的烘干塔热效率高, 但由于扬料机械在塔内多粉尘的热态条件下工作, 使烘干温度受限制, 维修麻烦, 至今也只有个别厂采用。

另外, 还有湿粘土质原料破碎烘干机, 它具有破碎和烘干的双重功能, 这种烘干机不属于本次设计的范围, 同学们了解一下即可。

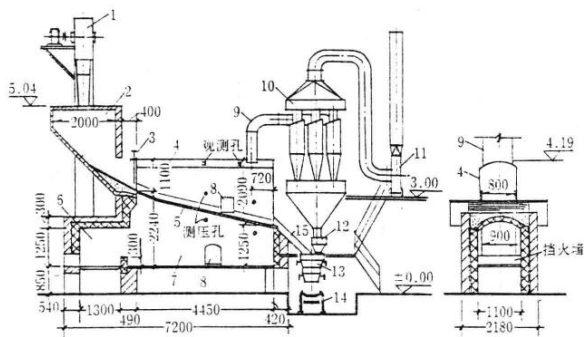


图3 流态烘干机工艺流程图

- 1-提升机；2-料仓；3-闸板；4-吸风罩；5-布风蓖床；
6-燃烧室；7-布风烟道；8-人孔；9-拔风管；10-旋风吸尘器；
11-排风机；12-闪动阀；13-翻板阀；14-皮带机；15-下料溜子

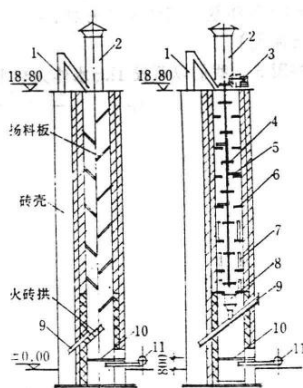


图4 $\phi 1.5\text{m} \times 18.8\text{m}$ 多层圆盘式烘干塔示意图

- 1-提升机 HL400；2-烟囱；3-传动装置中心轴转速 8.5r/min ；4-小圆盘 $\phi_{\text{外}} 800$, $\phi_{\text{内}} 140$ ；
5-大圆盘 $\phi_{\text{外}} 1450$, $\phi_{\text{内}} 600$ ；6-大圆盘 $\phi_{\text{外}} 1450$, $\phi_{\text{内}} 600$ ；
7-导气管；8-下料斗；9-下料槽；10-炉篦；11-鼓风机

§2 筒式烘干机选型计算

筒式烘干机的选型计算即回转式烘干机的选型计算通常包括以下内容和步骤：3。

1、根据给定的含终水分 $\gamma_2\%$ 的物料的年产量 G (kg/年) 确定烘干机的实际小时产量 G_{w2}

$$G_{w2} = \frac{G}{365 \times 24 \times K_0 (1 - \epsilon)}$$

式中: K_0 —回转式烘干机的年平均运转率, 一般为 0.85~0.90

ϵ —漏料、飞灰等造成的物料损失率, 一般按 2~5% 计

2、燃料燃烧计算:

确定燃料燃烧的空气需要量、烟气生成量、烟气成分和密度, 燃料的燃烧温度 (计算方法参见《热工基础》第四章燃料的燃烧)。

3、烘干机的物料平衡和热平衡计算

确定水分蒸发量 m_w (kg/h), 干燥介质用量 L (kg/h), 燃料消耗量 M_f (kg/h) 和废气生成量 V_{mi} (Nm³/h)

①水分蒸发量 m_w (kg/h)

$$m_w = G_{w2} \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{100 - \gamma_1}$$

式中: γ_1 —要烘干的物料的初始水分。

②干燥介质用量 L (kg/h)

$$L = m_w \cdot l$$

式中: l —蒸发 1kg 水需要的热气体量, 其计算方法如下:

蒸发 1kg 水需要的热气体量 l

筒式烘干机的热平衡如图 5, 我们以蒸发 1kg 水作为热平衡计算基础, 进行热平衡计算。

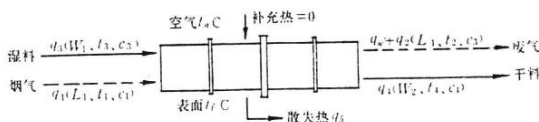


图 5 筒式烘干机热平衡示意图

计算方法如下:

A、热量收入部分:

a、热气体带入热量 q_1 :

$$q_1 = l c_1 t_1 \text{ (KJ/kg 水)}$$

式中: l —蒸发 1kg 水需要的热气体量, kg/kg 水;

c_1 —热气体比热, KJ/kg·k;

t_1 —热气体温度, ℃。

b、湿物料中水分带入的热量 q_2

$$q_2 = c_2 t_2 \text{ (KJ/kg·水)}$$

式中: c_2 —水的比热, $c_2 = 4.1868 \text{ KJ/(kg·k)}$

t_2 —进烘干机物料（水分）温度，℃。

B、热量支出部分：

a、蒸发水分消耗的热量 q_w

$$q_w = 2490 + 1.8922t_3 - 4.1868t_2 \quad (\text{KJ/kg 水})$$

式中： t_3 —出烘干机气体温度，℃

b、出烘干机气体带走的热量 q_3

$$q_3 = lc_3t_3 \quad (\text{KJ/kg 水})$$

式中： c_3 —出烘干机气体比热， $c_3 = 1.3 \text{ KJ/kg} \cdot \text{k}$

c、加热物料消耗的热量 q_4

$$q_4 = \frac{100 - w_1}{w_1 - w_2} \left(c_4 \cdot \frac{100 - w_2}{100} + c_2 \cdot \frac{w_2}{100} \right) (t_4 - t_2) \quad (\text{KJ/kg 水})$$

式中： w_1 —物料初水分，%；

w_2 —物料终水分，%；

c_4 —出烘干机物料比热（ $\text{KJ/kg} \cdot \text{k}$ ），见表 1；

t_4 —出烘干机物料温度，一般为 110°C 左右。

表 1 烘干不同物料的 C_4 值

物料名称	石灰石	粘土	矿渣	煤
C_4	0.92	0.84	0.84	1.26

④烘干机表面散失热量 q_5

$$q_5 = \frac{1.15\pi DLk\Delta t}{w} \quad (\text{KJ/kg 水})$$

式中：1.15—烘干机齿轮及轮带增加散热面积系数；

D—烘干机筒体直径，m；

L—烘干机筒体长度，m；

k—表面传热系数， $\text{w/m}^2 \cdot \text{k}$ ，筒式烘干机 k 值见表 2；

Δt —烘干机表面和周围环境的温度差，℃；

w—烘干机每小时蒸发水量即 m_w ，kg 水/h。

表 2 表面传热系数 k 值

Δt	40	50	100	150	200	250
k	47	58	116	175	233	291

C、根据热平衡原理，有 收入热 = 支出热

$$q_1 + q_2 = q_w + q_3 + q_4 + q_5$$

$$\therefore q_1 - q_3 = q_w + q_4 + q_5 - q_2 = \epsilon (c_1 t_1 - c_3 t_3)$$

$$\therefore \epsilon = \frac{q_w + q_4 + q_5 - q_2}{c_1 t_1 - c_3 t_3} \quad (\text{kg/kg 水})$$

③燃料消耗量 M_f (kg/h)

A、蒸发 1kg 水的耗煤量 q

$$q = \frac{1c_1 t_1}{\eta \cdot Q_{\text{net, ar}}}$$

式中: q —蒸发 1kg 水分的耗煤量, kg/kg 水;

η —燃烧室的热效率, 人工加煤的取 0.8, 机械加煤取 0.85;

$Q_{\text{net, ar}}$ —煤的收到基低位热值, KJ/kg 煤。

B、烘干机耗煤量 G_c

$$M_f = G_c = w \cdot q = \frac{w c_1 t_1}{\eta D_{bw}}$$

式中: G_c —烘干机小时用煤量, kg/h, 即燃料消耗量 M_f 。

④废气生成量 V_{mi} (Nm^3/h)

$$V_{mi} = V + W$$

4、选定蒸发强度 A 值, 确定烘干机容积 V 及规格 $D \times L$

$$V = \frac{m_w}{A} = \frac{\pi}{4} k_1 \cdot D^3$$

式中: k_1 —烘干机长径比, L/D 一般取 5~8

参阅《热工基础》P375 表 6-4 即可确定烘干机规格

5、电机拖动功率复核:

$$N = k \cdot D^3 \cdot L \cdot n \cdot P_m$$

式中: n —烘干机转速, 参见《热工基础》P372 表 6-2

P_m —物料容积密度, 见《热工基础》附录

k —与物料填充率 β 有关的系数, 参见《热工基础》P376 表 6-5, β 值一般为 0.1~0.25。

6、烘干机热效率计算:

烘干系统包括燃烧室、烘干机、排风除尘整个系统, 系统热效率计算公式为

$$\eta_{\text{总}} = \frac{(2490 + 1.8922t_3 - 4.1868t_2)}{q \cdot Q_{\text{net, ar}}} \times 100\%$$

式中: $\eta_{\text{总}}$ —烘干机系统热效率, %, 一般为 40~65%;

$2490 + 1.8922t_3 - 4.1868t_2$ 一即为 q_w ;

q —蒸发 1kg 水分的耗煤量;

$Q_{\text{net, ar}}$ —煤收到基低位热值。

7、废气出烘干的流速:

$$W_{mi} = [V_{mi} \times \frac{(273 + t_3)}{273}] / (3600 \times \frac{\pi}{4} D^2 \times \frac{100 - \beta}{100})$$

一般, 提高介质流速会提高传热和烘干速度, 但废气中含尘浓度也会增加, 因此, 就增加了收尘和排风设备负荷, 因此, 流速(出口风速)多取 1.5~3.0 m/s。

8、根据废气量和含尘量选择收尘设备

筒式烘干机废气含尘浓度较高, 多为 20~80 g/m³, 为达到国家规定的排放标准 0.15 g/m³, 一般选用二级除尘设备, 一级常采用直径大, 内衬耐磨隔热的单筒旋风式除尘器或沉降室, 二级选用玻纤袋式除尘器或电除尘器等, 由于烘干机废气湿度大, 因此, 为防止收尘系统内气体冷凝而堵塞, 要重视烘干机吸尘罩的密封, 除尘系统应注意保温。

9、根据排风量选择排风机：

烘干机系统排风量 V

$$V = k_1 k_2 w \left(\frac{t}{1.293} + \frac{1}{\gamma} \right) \left(\frac{273 + t_3}{273} \right)$$

式中： k_1 ， k_2 —漏风系数，风量储备系数，分别取1.1，1.2

γ —水蒸气重度，取 $0.850 \text{ kg/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

t_3 —出烘干机气体温度， $^\circ\text{C}$

10、其它配套设备的选型：

①破碎机

被烘物料进入烘干机前要进行破碎。破碎设备如下：

种类	水淬矿渣、块煤	湿粘土
设备	颚破、齿辊式破	齿辊式粘土破

破碎后用皮带机直接送湿料仓供喂料，也可用卷扬翻斗提升送粘土入仓再喂料。

②喂料设备

湿粘土易堵塞，要保证它能均匀、连续喂入烘干机中，要合理设计湿料仓结构型式、助卸装置，另外还要正确选择仓下喂料设备。对于粘性不大湿料，一般选直径较大圆盘给料机或宽槽型或激振力较大的电磁振动给料机。并要求料仓设计成进料口大、出料口大、料仓壁角度大，以防堵料。对湿粘土的仓下喂料设备不宜用电振机，以免把粘土“捣实”。

③输送设备

输送湿料，用皮带机或轻型板式输送机。

输送烘干热料，用埋链输送机或耐热皮带机。如用螺旋输送机，以减少填充率和螺旋转速，以减轻磨损。

11、确定燃烧室及附属设备

燃烧室是供给烘干热气体的热工构筑物。其型式按用煤型态分

燃烧室	块煤燃烧室	人工加煤 机械喂煤
	(烧粒煤)的沸腾燃烧室	沸腾 半沸腾
	(喷煤粉的)煤粉燃烧室	立式 卧式

立窑厂以人工喂煤块煤燃烧室使用最普遍，机加煤和煤粉燃烧室正在增多，下面重点介绍块煤燃烧室。块煤燃烧室也称层燃燃烧室，在层燃燃烧室中，大部分燃料在炉蓖上燃烧，而可燃气及一小部分细燃料则在燃烧室空间内呈悬浮燃烧。层燃燃烧要进行加煤、拔火和除渣三项操作，凡此三项均由机械进行的称机械化燃烧室，三项均由人工完成的称为人工操作燃烧室。

①人工加煤燃烧室

形式见《热工》P289 图 4-27，人工加煤燃烧室按炉蓖结构可分为水平固定床式、水平手动翻转式和阶梯固定床式等。烘干机上常用水平布置形式。炉蓖由许多单独炉条组

成，炉蓖通风孔隙的大小对通风均匀性有很大影响，为保证完全燃烧，人工操作的燃烧室空气过剩系数 α 取1.3~1.7。这种人工操作的燃烧室劳动强度大，热效率低，只适于小时耗煤量200kg以下的小型燃烧室。

a、水平固定床式

人工加煤和排渣易坏煤火底，影响煤稳定性并有漏煤现象，这种炉的燃烧热效率低，烟室温度也不高。为适应人工加煤的操作要求，设计的炉蓖长度为 ≥ 2.5 m，炉床宽度 ≈ 1.2 m。当需要加大炉蓖面积时，可采取设置两相加煤炉门的办法解决。

b、阶梯固定床式

该型炉蓖由七块铸铁板构成，每相邻铸铁板重叠100~150mm不会漏煤，整个阶梯炉蓖按 30° 倾角（ $\approx$ 煤的自然休止角），第3~4块蓖板上钻有风孔，有利于煤燃烬。热烟气出口管道为园形缩口，伸入烘干机筒体为100mm，可避免高温烟气烧坏筒体。负压操作，不需鼓风设备。

②机械加煤燃烧室：有回转炉蓖，倾斜推动炉蓖，振动炉蓖等几种。

a、回转炉蓖：

它的主要结构是一条链状炉蓖，见《热工》P294图4-30，当炉蓖自前向后缓缓回转时，便把煤斗中的煤带到燃烧室中燃烧，灰渣由尾部排出，如同板式给料机。

b、倾斜推动炉蓖：

它是由活动炉条和固定炉条组成炉蓖，两种炉条相间排列，当活动炉条自左向右推进时，见《热工》P294图4-31，固定炉条上的煤便被推到相邻的一块活动炉条上，当活动炉条自右向左运动时，由于固定炉条的阻挡，活动炉条上的煤便被拨动而落到相邻的下一块固定炉条，如此反复而将煤送入燃烧室中，这种炉蓖较为常见。

c、振动炉蓖：

它是使炉蓖振动，而使煤在惯性作用下移动的装置。

这三种炉蓖多有不同特点，参见《热工》第四章燃烧及其燃烧。

③煤粉燃烧室

它具有结构简单，燃烧速度快，热效率高，烟气温度高等特点。但这种燃烧室首先要进行煤粉制备，过去用钢球、立式磨来制煤粉，系统复杂，立窑很少用。随着小型煤粉制备机增多，立窑厂烘干机用煤粉燃烧室的也越来越多。

④层燃燃烧室主要尺寸计算：

a、根据烘干机每小时需要供给的热量，确定燃烧室的燃煤量。这里要注意燃烧室的效率，见《热工》P297表4-27。

b、根据耗煤量选择燃烧室类型。燃煤量 < 200 kg/h，选用人工操作的燃烧室，燃煤量 > 200 kg/h，选用机械化燃烧室。

c、计算炉蓖面积F：

$$F = \frac{B \cdot Q_{\text{net,ar}}}{3600 q_F}$$

式中：B—每小时进入燃烧室的燃料量，kg/h；

F—炉蓖面积， m^2 。定出F后可进一步确定炉蓖宽度和深度。对人工操作燃烧室炉蓖宽度 ≤ 1.2 m，深度 ≤ 2 m，若炉蓖较宽则应隔1m设一个炉门。对机械化燃烧室炉蓖应

符合定型产品尺寸。

$Q_{\text{net,ar}}$ —燃料收到基低位发热量；

q_F —炉膛面积热强度，是燃烧室热力强度的主要表示指标之一， q_F 越小，则 F 越大； q_F 越大，则 F 越小，但此时流过炉膛的气体流速过大，飞损增加，因此， q_F 应有一个合理值，见《热工》P297 表 4-26。

d、计算炉膛容积 V

$$V = \frac{B \cdot Q_{\text{net,ar}}}{3600 q_V}$$

式中： V —炉膛容积， m^3 ，炉膛估算高度 $H = \frac{V}{F}$ ，一般 $H \geq 0.3 \sim 1.0\text{m}$ ，机械通风时， H 还要大些，以免燃料被风带走，增加飞损。

q_V —炉膛容积热强度，也是燃烧室热力强度的表示指标之一，一般层燃烧室 q_V 在 $290 \sim 350\text{kw}/\text{m}^3$ 之间，烟煤取低值，无烟煤取高值。

机械立窑的设计

立窑是水泥生产中使用最早的设备。过去由于通风不均，使立窑生产的熟料质量不高，现在随着科技的发展，如预加水成球技术、低温煅烧技术和各种矿化剂的应用，使立窑生产的熟料，抗压强度达 58~65MPa，且安定性合格。

立窑具有投资少、见效快、设备简单、操作方便、热效率高、可使用劣质煤等优点，因而，掌握一定的立窑设计知识，对我们是必要的。

一、机械立窑的型式、规格

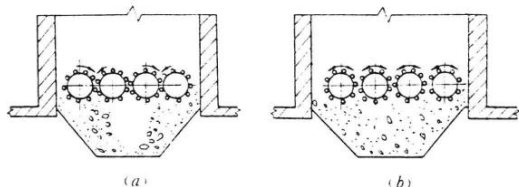
立窑分为机立窑和普立窑，其中机械立窑由加料罩、窑体、卸料机和排气烟囱等部分组成。

(一) 机械立窑的型式

机械立窑有多种型式，按卸料装置区分，一般分辊式、往复式、盘式和塔式四大类。

(二) 各种卸料装置的构造原理

1、辊式卸料装置：辊式卸料装置一般由四根带齿的金属圆辊组成，齿辊由传动装置驱动。按齿辊运动方式的不同，分回转辊式和摆辊式两种，参见下图。由于齿的转动或摆动，将窑底的熟料挤碎，并通过辊间隙卸至窑下料斗中，辊式卸料蓖床，不能均匀卸料，齿辊极易磨损，因此在逐步淘汰。



辊式卸料装置的构造简图

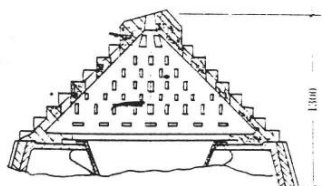
(a) 回转辊式；(b) 摆辊式

2、往复式卸料装置：往复式卸料装置由两块半圆形的带破碎齿和卸料孔的铸钢蓖子组成，架设于水平滑轨上，当两块蓖板互作反向的周期性的水平往复运动时，窑底部的熟料被挤碎并经蓖孔卸出，一般也用于规格较小的立窑上。

3、盘式卸料装置：盘式卸料装置的蓖子为一中部起的铸钢圆盘，置于立轴之顶端，盘面均布破碎齿，齿间设卸料孔。当蓖子转动时，窑底部的熟料受扭剪、挤压的作用而破碎，经卸料孔排至窑下料斗。它的缺点是：圆盘周边与中心的线速度有较大差异，使卸料不均匀，也趋于淘汰。盘式卸料装置的改进型是将盘中部的起部分加高，呈塔形，称为盘塔式。它对卸料不均和漏料的问题有所改善，实际使用效果较好。

4、塔式卸料装置：塔式卸料装置形似塔。旧的塔式卸料装置由数层环形压圈组成。

风口呈水平，易卡料，已被淘汰。新型的塔式卸料装置，具有较强的破碎能力和均匀卸料特点，并具有均匀布风功能；塔蓖的转向、转速可方便调节，能控制卸料速度，使窑内物料按生产情况整体地连续下沉；还能减小出窑熟料粒度和防止漏料，铸钢风帽塔蓖如图。



铸钢风帽塔蓖

(三) 机械立窑卸料密封装置

机械立窑的卸料密封装置，过去曾用三道或四道闸门，近年来，卸料密封装置主要采用料封管。料封管可分为水平和垂直的两种，垂直料封管如图，它由承料斗、料封管、软接头、节流器以及料位控制仪表等组成。常用的料位控制仪表有： γ -射线料位计、电容式料位计、压差光电自控料位计等。下面是三种密封方式的对比。

密封方式比较表

密封方式	三道闸门	轮式卸料机	料 封	
			垂直料封管	水平料封机
生产能力(t/h)	15	0~12	25	18
漏风量(%)	1~20	7	1.5~10	1.4
电机容量(KW)	6.7	2.2~4.5	0.35~0.45	5.5
磨损情况	较 快	较 快	轻 微	较 小
检修周期	2~6 个月	20~30 天	1~2 年	0.5~1 年
设备重量(t)	6.4	2.5	0.8~1.2	2~4

从表中对比的结果，机立窑的料封多半选用垂直料封管。

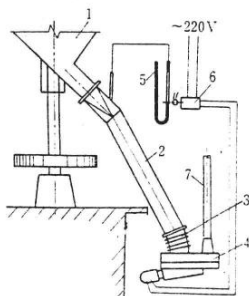
(四) 机械立窑窑罩、烟囱和喂料装置

立窑的烟囱分为单烟囱和双烟囱两种，有些烟囱上设有排风机，以提高排风速度。

机械立窑的喂料装置多采用回转的单溜子喂料装置。溜子设于窑罩内部，它的驱动装置在窑罩顶部。溜子的卸料溜角可用操纵机构进行调节，改变溜角就可以向窑内任何地方进行布料。

(五) 机械立窑的技术性能和外形尺寸

我国机械立窑的规格品种繁多，它们的规格和产量见下表：



垂直料封布置示意图

- 1-承料斗；2-料封管；3-软接头；
4-节流器；5-U型差压计；
6-光电可控硅整流开关；7-除尘风管

窑内直径(m)	窑高度(m)	日产量(t/d)	工厂规模(万吨)	
			熟料	普通水泥
1.7	6.5~7.0	60~80	2	2.5
2.0	6.5~8.0	90~120	3	3.5
2.2	7.0~8.5	120~150	4	4.5
2.5	8.0~10	180~220	5.5	6.5
2.8~3.0	10	240~280	7.5	9.0
3.6	10	400	12	14.0

机立窑的外形尺寸见《手册》。

二、机械立窑的煅烧方法

(一) 对生料的质量要求

立窑中的物料，是在层状整体自沉落过程中进行煅烧的。物料中的烧成用煤量是依据生料化学成分和立窑热工制度预先配合的，生料成球粒度不均匀，窑内物料沉降不一，直接影响窑内通风和热工制度稳定，因此，立窑煅烧用生料的质量第一成分要适当，第二混合要均匀。

1、生料成分

成分合适的生料，不但好烧，而且烧出的熟料的强度高、易磨，根据经验，一般为：
 $kH=0.88\sim0.98$ $n=1.8\sim2.2$ $p=0.64\sim1.3$

2、生料均匀性

根据原料情况，采用适当的原料预均化堆场和生料的均化库，保证入窑生料碳酸钙滴定值波动在 $\pm 0.25\%$ ，合格率达到80%以上。

(二) 对煤的质量要求

立窑煅烧用煤，一般为发热量20900KJ/kg以上，挥发份低于10%的无烟煤。因为当挥发分高时，在缺氧的气氛中，挥发分不能全部燃烧，剩余部分逸出窑外，会增加热损失，浪费能源，如要使用烟煤，也要注意使之与无烟煤搭配使用。

(三) 煅烧方法和流程

1、全黑生料法

将烧成用煤量的全部加入配合原料中一起入磨制得的生料，称为全黑生料。使用这种生料成球入窑进行煅烧的方法，称全黑生料法。全黑生料中的煤粒能与生料分解产生的 CO_2 起反应，还原生成CO，从料球内部逸出，遇氧再氧化放热生成 CO_2 。此反应加快了物料中碳酸钙分解反应速度，同时，使窑内高温层薄而火力集中。利于快烧急冷，烧成的熟料疏松多孔，利于熟料粉磨节能。

制备全黑生料有两种方式：一种是煤与生料一起入磨粉磨；另一种是煤与生料分别单独粉磨，共同粉磨的优点是，流程简单，煤粉和生料混合均匀，缺点是煅烧时不便调节煤量，另外，煤粒过细着火快，会有少量煤粉在缺氧气氛的预烧带产生CO随废气逸出窑外

造成化学不完全燃烧热损失。单独粉磨的优点是，煤粉细度容易控制，缺点是增加煤粉制备和配煤环节，流程较复杂。

2、半黑生料法

将煅烧所需煤中的一部分，喂入磨内与原料一起粉磨（生料称半黑生料）煤的另一部分，破碎成3~4mm以下的煤粒，均匀地加入半黑生料中去，这种称半黑生料法。

3、白生料法

将单独制备的烧成用煤粒均匀地加入均化好的生料中，经成球入窑进行煅烧的方法，称为白生料法，又称“普通煅烧法”。

4、包壳料球法

包壳料球是在全黑生料的料球表面，再包上一层白生料外壳的方法，它的生产工艺复杂，此法现已不采用。

5、差热煅烧法

差热煅烧就是按立窑断面将窑内物料划分为中心料和边缘料两部分，并将边料与中料配以不同的煤量进行煅烧的方法。它的实际效果不理想，已很少采用。

三、机械立窑喂料配煤系统

配煤影响着窑内煅烧温度和熟料成分，目前国内立窑入窑生料配煤采用的方法有容量法与质量法两种。

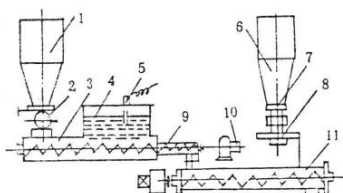
(1)、容量法

用带有冲箱的缩径螺旋控制流量，如图示。

当物料充满缩径螺旋体积时，可稳定生料流量。优点是设备少，但如果缩径螺旋内物料的充满度和物料容积密度不稳定时，流量误差也较大。

(2) 质量法

生料和煤分别采用按预定配比调节的大小不同的计量称，待两者均达到各自要求的质量时，同时卸料进行搅拌机。秤斗卸料时扬尘较大，要求密闭防尘。



缩径螺旋配煤系统图

1-生料仓；2-分格轮；3-螺旋输送机；

4-缓冲箱；5-料位计；6-煤仓；

7-螺旋闸门；8-圆盘喂料机；9-缩径螺旋；

10-调速电机；11-混合螺旋机

四、机械立窑的成球工艺

(一) 常用的成球设备

1、成球盘

(1) 成球盘的构造、规格与性能

立窑水泥厂所采用的成球设备一般为成球盘。它由圆盘、刮刀、传动装置和机座等部分组成。圆盘的直径一般在2.0~3.0m。盘的转动方向有顺时针和逆时针两种。倾斜角度约35~55。转速为10~18r/min。成球盘的刮刀有固定和活动两种，固定的阻力大、振动大，逐步淘汰。各种形式的成球盘及预加水成球盘的外形尺寸，规格性能见《手册》。

2、搅拌机

后料在配煤后成球前，为使煤料混合均匀，一般选用双轴或单轴搅拌机进行拌和，煤料经过搅拌均化后送去成球，对提高料球质量非常有利。单轴、双轴搅拌机的外形和基础尺寸图、性能见《手册》。

（二）生料球的质量要求

为使窑内料球孔隙率高、料球爆裂少、流体阻力小、料球应达到以下几项质量要求。

1、粒度要求

料球粒径均匀，可获得最大的通风孔隙。

2、强度要求

料球在输送、喂入过程中受到挤压、冲击和滚动，如果料球缺乏应用的强度则导致破裂和粉碎而产生大量粉料，影响料层通风和煅烧。一般要求湿球的冲击强度在距钢平台为1m高度，将湿球自由落下后不破碎为宜。

3、孔隙率

湿球入窑，在加热过程中温度很快升高，球内水分逐渐蒸发，如不能及时逸出，则内压力增高会引起料球炸裂。因此，水蒸汽必须通过孔隙排出球外，孔隙率不足30%时，易发生炸球。一般要求空隙率为31%~34%。

4、炸裂温度

炸裂温度也是衡量料球稳定性的指标。一般规定，骤然遇到750℃气体的料球，其炸裂率应小于15%~20%，减小入窑球直径能减小炸球。

（三）提高成球质量的措施

近年来，人们多半采用自动控制预加水成球新技术来提高成球质量。

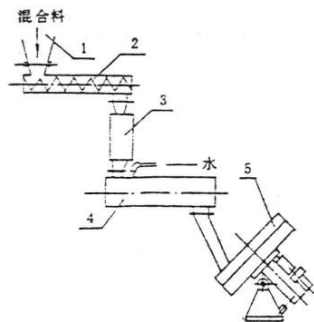
（1）预加水成球的原理

物料在进入成球盘之前，在搅拌机内先行喷雾湿润，即所谓“预加水”。经过均匀搅拌，形成球核，然后送入成球盘造球。

（2）预加水成球设备及流程

自动控制预加水成球技术设备，包括双管螺旋喂料机、冲量流量计、双轴搅拌机、成球盘以及控制装置等五个部分组成。其工艺流程如图示。

双管螺旋喂料机、双轴搅拌机及成球盘的技术性能分别见《手册》。



预加工成球工艺流程示意图

1-料仓；2-调速双管螺旋喂料机；3-冲量流量计；4-双轴预加水搅拌机；5-成球盘

五、机械立窑的工艺参数及计算

1、窑的内径和高度

机械立窑内径的大小与窑的产量、通风等关系密切，内径大，产量高，但通风均匀性差，加工制造要求高。现阶段我国机械立窑的内径一般在1.7~3.0m之间，其中以2.2~2.8m居多数。机械立窑的高度，固然与物料在窑内进行反应的时间有关，更重要的是要求卸料机能保证物料均匀下沉和通风均匀。机械立窑的高径比(H/D)是表示立窑规格的