

三级石灰消化器及系统设计

邹旭 杨玉巍 刘春辉 吴成千 李新科 于慧文

北方重工集团有限公司

摘要: 本文按照设计条件及设计指标要求,详细阐述了石灰消化系统的设计方案、工艺流程及工艺参数,如给料量、给水量等参数的设计、计算过程,同时,结合螺旋输送机的工作原理、结构参数设计理论,比照应用到石灰消化器的结构设计中去,从而计算确定各分级消化仓的输送能力、物料停留时间、搅拌轴直径、叶片倾角、搅拌轴转速及电动机功率等重要结构参数设计。介绍了某企业自主研发设计的三级石灰消化器及消化系统的组成、技术特点等,对消化器及消化系统的设计具有很好的参照和指导意义。

关键词: 生石灰粉;熟石灰;消石灰;消化;螺旋输送机

1 三级石灰消化器工作原理

粒径小于 1 mm 的氧化钙通过变频旋转给料机、皮带称重给料机称重计量后进入消化器。

消化器由三级消化器组成,一级、二级消化器为双轴搅拌形式,三级采用单轴搅拌形式。

一级消化器内的双轴搅拌叶片能促进氧化钙与水的充分混合,以加速二者间的化学反应过程,并将其输送至二级消化器;二级消化器内的双轴搅拌叶片促使氧化钙与水继续混合,持续发生反应,并推动至三级消化器内;三级消化器内的单轴搅拌叶片对物料持续搅拌,使其充分消化成满足使用要求的氢氧化钙。

石灰消化原理: $\text{CaO}(\text{固}) + \text{H}_2\text{O}(\text{液}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{固})$,通过消化生成的氢氧化钙由消化器出口排出。

消化器上部设置了出风口,并设置布袋除尘器和风机,用于处理消化过程中所产生的气体。粉状 CaO 由密封罐车运输到现场并送入现场吸收剂料仓。生石灰经过干式消化器消化成消石灰,消化后的消石灰经输送系统输送至消石灰仓^[1]。

2 三级石灰消化器优点

2.1 能够控制生石灰(CaO)在消化器内的消化反应时间

通过多种调整方式,可以控制石灰消化过程在三级干粉消化器舱内达到 8 ~ 15 min,使生石灰(CaO)充分消化。

2.2 消化器具有良好的保温性能

生石灰(CaO)反应过程中产生的大量热量在消化器内部转换利用,提升内部生石灰消化料温,有利于生石灰(CaO)的充分消化。

2.3 精准配置,灵活调节,消化率高,可定制高活性石灰

根据生石灰品质及消化过程的不同进程,对叶片形式、角度、旋转方向、旋转速度、喷水量、温度控制以及出料溢流等进行精准配置与调节。使消化反应时间充足,转化率高,产生的消石灰含水率低于 2%,并可满足不同用户对高比表面积、高孔容的高品质活性石灰个性化定制^[2]。

3 石灰消化器及系统设计方案

3.1 设计条件

3.1.1 生石灰品质要求

吸收剂采用冶金生石灰粉,生石

灰粉的品质满足 YB/T042《冶金石灰》标准的二级品要求,活性度大于 300, $T_{60} \leq 4\text{min}$ (T_{60} 表示石灰加水后升温至 60℃ 所需时间,按 DINEN459-2 标准执行)。纯度: $\geq 80\%$; 粒度: $\leq 1\text{mm}$; 含水率: $\leq 1\%$ 。

3.1.2 消石灰指标要求

消石灰产量: 15t/h; 转化率: $\geq 95\%$; 消化后产品比表面积: $\geq 15\text{m}^2/\text{g}$; 含水率: $\leq 1\%$ 。

3.2 设计方案

由自卸式密封罐车运来的生石灰粉经罐车自带的空压机输送到生石灰仓内,再经变频旋转给料机、皮带称重给料机进入卧式双轴搅拌干式消化器,消化后的消石灰粉,含水可控制在 1% 范围内,比表面积可达 $15\text{m}^2/\text{g}$ 以上,温度约 120℃。消化后的消石灰直接通过气力输送系统至消石灰仓。

石灰消化系统通过变频给料机和皮带称重给料机对生石灰进料量进行计量控制,通过变频螺杆泵、流量计对水的给入量进行计量控制,以适合的灰水比在石灰三级干式消化器内完成消化反应,反应生成的消石灰以干粉的状态存在。工艺流程: 生石灰仓→变频旋转给料机

→皮带称重给料机→旋转给料机→消化器一级→消化器二级→消化器三级→手动三通切换阀→旋转给料机→消石灰仓。

3.3 石灰消化器材料选择、结构设计及可靠性分析

3.3.1 材料选择

消化器叶片采用经热处理的高强度耐磨合金材料(NM400)制成并具有自清理黏结料的功能,主轴采用经调质处理的40Cr钢制成,叶片与主轴联接采用高强度螺栓;消化器本体接触物料部位及内部的U形槽采用304不锈钢材质,以防止消化过程中对设备的腐蚀及粘料;喷嘴采用进口的不锈钢旋切空心锥喷头,能够均匀地喷洒到物料的表面。

3.3.2 结构设计

消化器由三级消化器组成,一级、二级消化器为双轴搅拌形式,三级采用单轴搅拌形式。一级、二级、三级均采用变频电动机,除具有良好的节能效果外,能够更好地提升消化器对石灰的消化效率。

3.3.3 可靠性分析

消化器一级、二级、三级均采用变频电动机,在运行中可灵活调节,并可确保下一级的处理大于上一级的处理,确保物料不堆积,料流顺畅,且消化器出口配有旋转给料机。旋转给料机具有良好的锁气功能,防止输送风反窜至消化器出口形成正压,影响消石灰的正常下料。上述措施能够保证粉料在消化器系统内能够均匀连续地下料,且灰量能够通过变频给料机和皮带称重给料机进行精确的计量与控制,而供水系统通过变频螺杆泵和流量计也可以做到精确调节,确保灰水配比得当,在消化器桨式叶片的搅拌下,能够得到充分地混合消化,温度的多点监测能够进一步判断消化器的工作是否达到了预期的要求。

4 消化系统给料量及给水量工艺计算

根据化学反应平衡方程式求得(见

图1),每小时生产15t的消石灰粉,需要生石灰粉的给料量为:11.4t/h(理论值),给水量7.3t/h(理论值),因消化反应中需放出大量的热,为保持温度恒定在100℃左右的工作环境,需要生成的水蒸汽携带出大量的热量,所以给水量在实际生产中要大于这个比值,取总进给量为19t/h(水和生石灰粉)。在一级消化器中的物料是水和生石灰粉的混合物,生石灰粉的密度为1.01t/m³,水的密度为1t/m³,可以近似地把一级消化器中的物料全部视为生石灰粉,便于计算。

5 消化器型号确定及主要结构参数计算

5.1 产能计算

由于消化器各级仓是以螺旋的形式推进,所以可以用螺旋输送机的输送能力的公式来推导搅拌机产能的估算^[3]。

$$G=X60\pi D_2S_n\rho\Psi\beta_0/4 \quad (1)$$

式中G—输送机输送量(t/h);

Ψ—料槽的充填系数,由表1查得,石灰粉的充填系数取Ψ=0.4,因尾端带挡板,填充率放大系数一般取1.2~1.4,

取中间值填充系数Ψ=0.55;

β₀—输送机的倾斜系数,由表2查得,当倾斜角为0时,β₀=1;

ρ—被输送物料的堆积密度(t/m³);

n—主轴转速(r/min);

D—螺旋直径(m);

S—螺旋螺距(m);

X—主轴个数。

双轴搅拌机为断续螺旋,物料在间断区不输送物料,只做搅拌运动。所以搅拌机的输送能力要比螺旋输送机小,上述公式要乘以影响产能的相关系数。根据上述参数,双轴搅拌机产能公式经验公式为:

$$G=94.2D_2Sn\rho\Psi\beta_0K_1K_2K_3 \quad (2)$$

式中K₁—导程系数,双轴输送机搅拌轴转过一周,一个导程上的叶片使物料向前推进的系数;

K₂—流量系数, $K_2=(1-1/2\sin\alpha)\cos\alpha$;

K₃—阻力系数, $K_3=\lambda(1-a/90)$;

λ—运行阻力系数,它与物料的黏度、摩擦系数等因素有关。

$$K_1=Zbsina/S \quad (3)$$

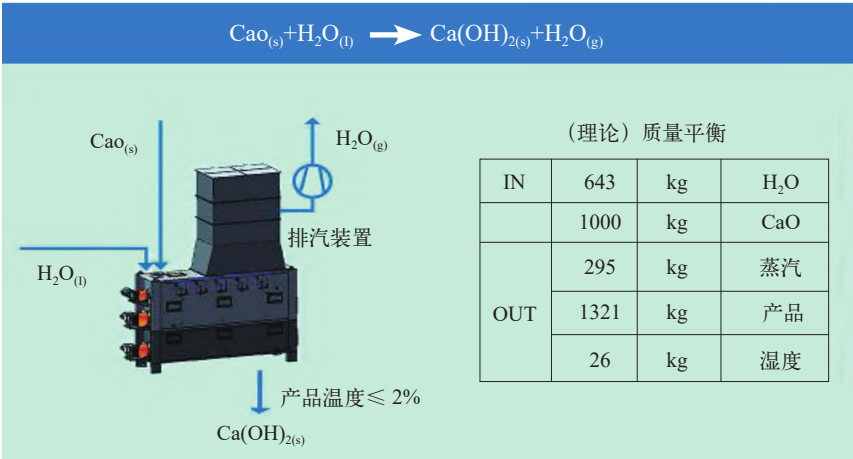


图1 消化反应质量平衡

表1 粉料分类及综合特性表(螺旋输送机标准JB/T7679—2019)

粒度	粉料的磨琢性	粉料的典型例子	充填系数Ψ	粉料特性经验系数K	综合特性系数A
粉状	无磨琢性半磨琢性	面粉、石墨、煤粉、石灰粉、碱面	0.35~0.40	0.0415	75
粉状及片状	无磨琢性半磨琢性	锯末、泥煤、颗粒食盐	0.25~0.30	0.0490	50

表2 倾角系数(β₀)表(螺旋输送机标准JB/T7679—2019)

倾斜角	0°	≤ 5°	≤ 10°	≤ 15°	≤ 20°
β ₀	1.0	0.9	0.8	0.7	0.65

式中 Z——一个导程内叶片分布的数量；

b——叶片平均宽度 (m)；

a——叶片的与轴线的安装角度(度)。

由上述公式可以看出，搅拌机的输送能力与叶片直径、转速、填充率及叶片角度有关，叶片角度越大物料的推进速度越快，一般搅拌机叶片的安装角度在 25° 内，最大不超过 45°。

5.2 物料在消化器移动速度及停留时间
物料轴线移动速度

$$v=ZbnB \sin a/60 \tag{4}$$

式中 v——物料轴线方向移动速度 (m/min)；

B——回料系数，一般取 0.85；

a——叶片的与轴线的安装角度(度)。

物料在消化器仓内停留时间

$$t=L/v \tag{5}$$

式中 t——物料在消化器内停留时间 (min)；

L——进出料口间距离 (m)。

根据生石灰消化放热反应完全生成消石灰粉过程的工艺要求，生石灰需在消化器内停留时间约 20 min 左右，才能保证生石灰粉完全消化。按上述理论公式分别设计计算三级消化仓的主要结构技术参数，计算结果见表 3，主要结构如图 2 所示。

6 自主研发的三级石灰消化系统

6.1 系统组成

某公司的三级石灰消化系统主要由原料仓、仓顶除尘器、输送管道、料仓双开变频给料装置、料仓下料稳料装置、密封式称重给料机、螺旋输送机、三级消化器装置、气粉分离除尘系统、冷凝系统、工艺水系统、流化风以及风机管道、电气控制系统、仪表控制系统、自动润滑系统以及远程终端监测系统组成。

6.2 工艺过程

某公司研发的环保型三级石灰消化系统工艺流程如图 3 所示，石灰原料经气力输送进入石灰储仓，储仓下方设置称重变频给料装置，可根据生产需要调节所需进料量，石灰进入三级石灰消化器，自动工艺水装置开始针对进料情况配比工艺水量，石灰在消化器内充分消化后，落到输送机上输送至主工艺生产线，消化后的消石灰不再有蒸汽粉尘释放污染环境，下料口的熟石灰温度在

100℃左右，有效地解决了提高料温的需求。此消化器搭配其公司自己研制气粉分离系统，能够将生石灰消化过程中产生的粉尘完全处理，最终实现各类工艺段配料石灰消化的清洁生产，工艺系统布置如图 4 所示^[4]。

6.3 三级石灰消化系统的技术特点

能够控制石灰在消化系统内的反应时间。变频旋转给料机、消化器均可以在出力范围内自由调节，最大出力均可达到技术要求。通过多种方式调整可以满足 15 ~ 60 min 的反应时间要求，使生石灰充分消化。

消化器具有良好的保温和密封性能。石灰在消化器一、二级即可完成消

表3 设计产能 15 t/h 三级石灰消化器三级仓主要结构参数

主要参数	一级消化仓	二级消化仓	三级消化仓
搅拌叶片直径 /m	W=1.2	W=1.4	W=2.1
搅拌叶片直径 /m	D=0.65	D=1.3	D=1.3
导程 /m	S=0.4	S=0.9	S=0.9
叶片宽度 /m	b=0.05	b=0.04	b=0.04
叶片角度	a=20°	a=10°	a=5°
一个导程内叶片数量	Z=4	Z=6	Z=6
搅拌轴总叶片数量	i=60	i=40	i=40
搅拌轴直径 /m	d=0.18	d=0.18	d=0.18
搅拌轴数量	X=2	X=1	X=2
搅拌轴转速 (r/min)	31	31	31
进出料口距离 /m	L=6	L=6	L=6
电动机功率 /kW	30	18.5	18.5

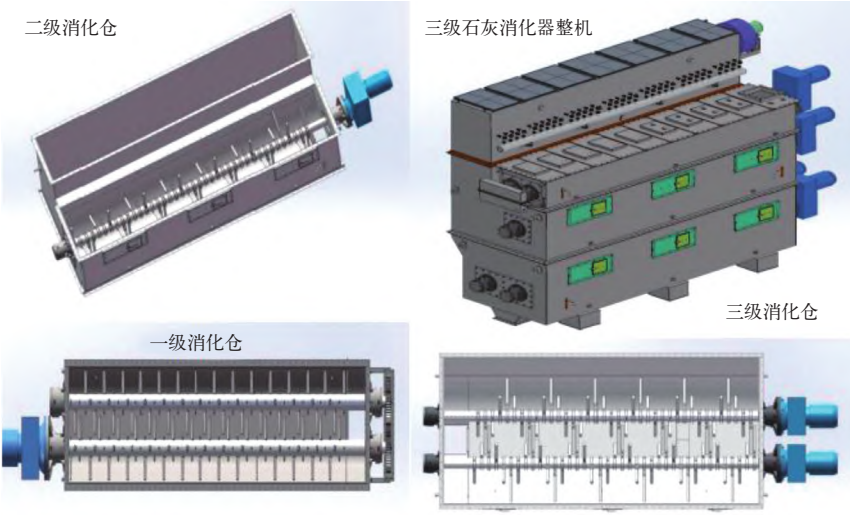


图2 三级仓结构

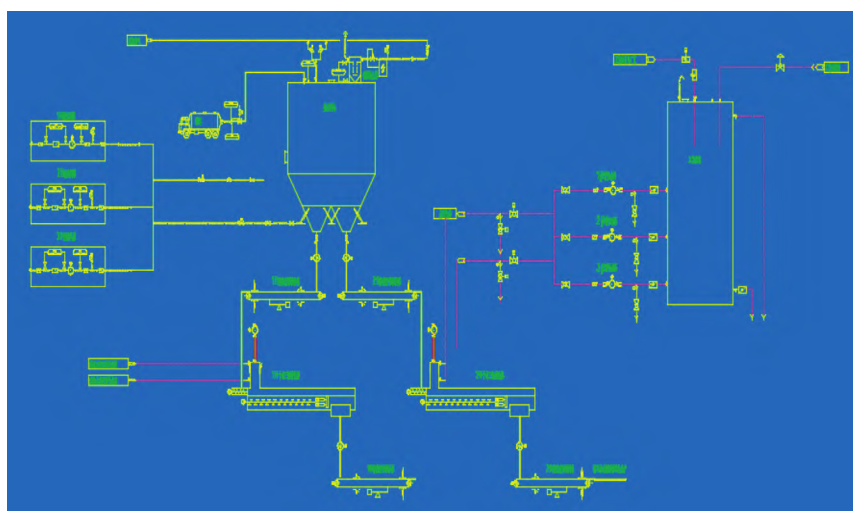


图3 工艺流程

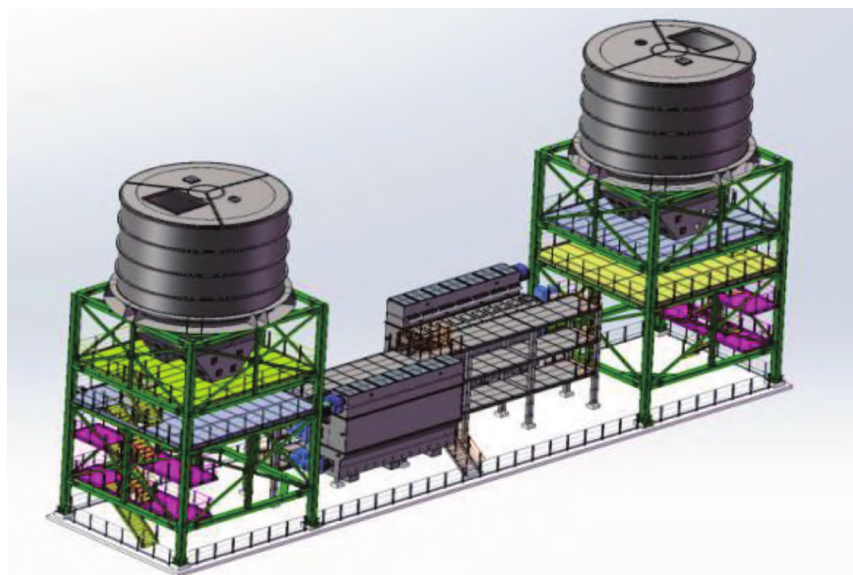


图4 工艺系统布置

化,而消化过程中物料始终在消化器内部的“U形”槽内,“U形”槽采用304 不锈钢制造,除可以防止腐蚀外,还可以有效保证物料不与槽壁粘接。同时“U形”槽两端与消化器壳体间留有一定的距离,从而保证气流在消化器的一、二、三级之间能够得到很好的流通。科学的设计使生石灰反应过程中产生的大量热量在消化器内部转换利用,提升内部温度,一般情况下生石灰2~5 min 达到100°左右,有利于生石灰的充分消化^[5]。

消化器一级采用双轴结构搅拌消化更充分。双轴向搅拌叶片将物料向消化器中心靠拢,便于水的密相部位与物

料的密相部位重合,消化器桨式叶片能够对灰水充分搅拌,促使其均匀混合与消化。采用一体式除尘系统。除尘和消化器一体化,运行过程中没有任何废水废气及粉尘的排出,满足超净排放粉尘浓度小于10 mg/Nm³。

科学节能配水流程。系统采用电磁流量计对工艺水量进行计量,通过变频螺杆泵调整进水量,进水量依据生石灰下料量按设定的水率实现自动调节。针对生石灰的活性度差别,我们在消化仓内设有热电阻,根据热电阻监测的温度来调节下水量,还可根据系统进料量通过控制系统计算配水量,达到科学配水无浪费。

自动监控系统和远程控制系统。可实时监测设备的工作状态,监控设备的温度和速度以及电动机电流,能够有效地发现设备的问题可以快速解决,控制系统联锁功能完备,任一设备出现故障报警后均能实现自动停水,最大程度上避免消化器发生黏结堵塞。系统自动化程度高,能实现远程的一键开关,远程操作和现场操作。

7 结语

随着国家产业结构调整,绿色产业的推广,根据钢铁、有色、化工、轻质碳酸钙和环保产业等领域的快速发展,石灰应用市场再次迎来了需求高涨,干粉熟石灰的需求越来越大。对于熟石灰消化器厂家等制造业来讲,采用自动化控制技术是大势所趋,如何提高自动化控制效率和数据信息采集和整合,是未来需要逐步完善升级的方面。就目前看虽然自动化程度和智能化有了较高的发展,但是随着整体技术的提升,其发展势必会更加智能化,以应对不断变化的熟石灰消化器激烈的竞争市场。

参考文献:

- [1] 黎亮. 国产化消石灰生产装置特点和主要设备选型 [J]. 硫磷设计与粉体工程, 2007 (2): 27-30.
- [2] 程克勤. 粉粒状物料性能与其气力输送特性 [J]. 硫磷设计与粉体工程, 2005 (1): 11-17.
- [3] 夏宜顺. 对稳流螺旋输送机的分析及改进意见 [J]. 水泥, 1996 (12): 35-37.
- [4] 傅志全. 改进和优化氢氧化钙工艺设备 [J]. 耐火与石灰, 2015 (8): 15-19.
- [5] 马建军, 张树刚, 孙浩, 王浩. 生石灰三级消化技术在烧结工艺中的应用与研究 [J]. 钢铁冶炼, 2021 (2): 26-28.