

# 胶粉电磁裂解实验装置设计与实验研究

张灿罡

(东营科技职业学院, 山东 东营 257300)

**摘要:** 利用电磁涡流加热特点, 设计并制作了一台胶粉电磁裂解实验设备, 该裂解设备由上部壳体、下部壳体、搅拌螺旋和加热控制器组成。将胶粉裂解为炭黑和油、可燃气体, 实现了资源的循环利用。对胶粉电磁裂解实验装置进行胶粉的连续化裂解实验, 实验结果表明: 静态情况下需加热 25 min (10 min 连续加热 +15 min 调整功率保温加热) 然后正常冷却裂解, 而增加搅拌后加热 15 min (比静态缩短 10 min) 然后正常冷却裂解达到同样效果。表明增加搅拌的方式增加了塑料加热均匀性、提高了传热效率、加快了裂解速度, 可缩短裂解时间 40%。实验得出了裂解胶粉的最佳工艺条件, 为后续的大型胶粉电磁裂解设备的设计提供参考。

**关键词:** 电磁涡流; 胶粉裂解; 搅拌螺旋

**中图分类号:** TQ330.492

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2024)07-0025-05

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2024.07.006

废旧轮胎, 是指被替换或淘汰下来已失去作为轮胎使用价值的轮胎, 以及工厂产生的报废轮胎。废旧轮胎具有很强的抗热、热生物、抗机械性, 并很难降解, 几十年都不会自然消失掉。长期露天堆放, 不仅占用大量土地, 而且极易滋生蚊虫传播疾病, 还容易引发火灾, 被人们称为“黑色污染”。

废旧轮胎正以惊人的速度增加, 一系列新的社会问题凸显出来, 随着汽车的更新换代和数量的持续上涨, 废旧轮胎也正以惊人的速度增加, 对环境和资源的压力越来越大, 一系列新的社会问题凸显出来, 大量轮胎废弃与日俱增, 已经成为影响公共卫生、环境保护和资源利用的国际社会问题。虽然现有的垃圾处理主要有填埋法和焚烧法, 但缺点非常明显。填埋法存在环境污染、占用大量土地资源, 适用价值逐渐降低。焚烧法在许多垃圾焚烧发电厂基本上采用原始的炉排加煤加重油助燃的方式进行。其运行处理成本高, 焚烧尾气不能达标排放, 造成了环境的二次污染。

除去上面提到的简单粗放的废旧轮胎处理办法, 还有改制利用、轮胎翻新、再生胶、热能利用、橡胶裂解等一些比较好的处理办法<sup>[1]</sup>。在这些办法中, 橡胶裂解是最终极的处理方式, 橡胶裂解是将大分子有机物分解成小分子有机物, 进而得到不同的裂解产物, 按照裂解产物的形态可以分为炭黑、燃料油、可燃气体。橡胶裂解相对于改制利用、轮胎翻新、再生胶、热能利用等其它处理方式, 橡胶裂解更具有环保节能、处

理量大、回收资源利用价值高等优势, 更符合实现环境效益和循环经济的发展要求<sup>[2-3]</sup>。

随着技术不断发展, 电磁感应加热作为一种新型的裂解技术应运而生, 它具有环境污染小、加热效率高、预热时间短、温度容易控制以及非接触式加热等优点, 为废旧塑料裂解提供良好的解决方案。电磁感应加热具有升温快、热效率高、寿命长、安全性好、易于控制、对周围环境不产生热辐射以及非接触式加热等优点, 这种方式它从根本上解决了电热片、电热圈等电阻式通过热传导方式加热的效率低下问题。利用电磁涡流加热特点, 设计并制作了一台胶粉电磁裂解实验设备, 将电磁加热原理应用于胶粉的裂解。将胶粉裂解为炭黑和油、可燃气体, 实现资源的循环利用。

胶粉电磁裂解实验装置为筒形结构, 由上部壳体、下部壳体、搅拌螺杆、电瓷加热控制单元等组成。料筒上侧生有出气口, 上部壳体焊接上盖把手, 方便拆卸。料筒表面套有线圈感应加热装置, 线圈与电磁加热控制器连接, 选择裂解胶粉的最佳频率和裂解温度, 可以实验不同频率和温度下的胶粉的裂解情况。

裂解产出回收产品包括: 炭黑、油、可燃气体等。炭黑用于炼胶或其它用途, 裂解油、可燃气体可收集或者送到其它燃烧设备直接利用。变“黑色污染”为再

作者简介: 张灿罡 (1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事高分子材料成型加工技术相关研究。

收稿日期: 2023-05-04

生资源，以原料状态进入生产循环中去，既治理了环境污染，又使资源综合再生利用，具有很好的社会效益和经济效益。

### 1 新型电磁裂解机理分析

裂解方式分为热裂解和电磁裂解。

热裂解采用燃烧各种工业废油产生的热烟气、用电或用电磁加热装置等加热方式，在缺氧或氮气保护下将废旧轮胎加热到一定的温度使其分解，回收可燃气、油、炭黑的技术。但这种技术能耗大、污染严重、裂解产物质量不易保证。

电磁裂解是新的裂解方式。用线圈通电，线圈中产生高频磁场，从而使得处于线圈中金属棒受磁场感应而发热。电能可以全部的由上述过程中，转化为金属棒的热能，整个过程中，金属棒和线圈没有任何物理接触，能量的转换，完全由磁场涡流和金属感应完成。

电磁感应加热的原理是感应加热电源产生的交变电流通过感应器（即线圈）产生交变磁场，导磁性物体置于其中切割交变磁力线，从而在物体内部产生交变的电流（即涡流）。涡流使物体内部的原子高速无规则运动，原子间互相碰撞、摩擦，产生热能使料筒自行高速发热，从而达到加热的目的。即通过把电能转化为磁能，使被加热钢体感应到磁能而发热的一种加热方式，具体电磁裂解原理图如图 1 所示<sup>[4-5]</sup>。

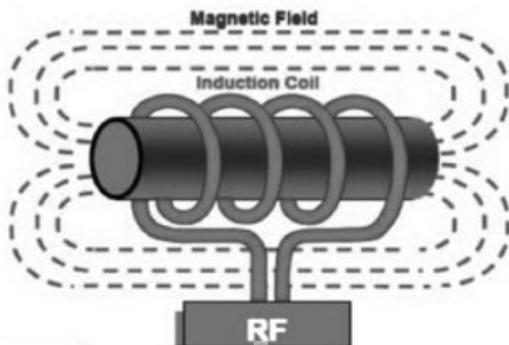


图 1 电磁裂解原理图

对电磁裂解进行总结分析后，归纳电磁裂解设备的优点如下：

(1) 电磁裂解有环境污染小、加热效率高、预热时间短、温度容易控制以及非接触式加热等优点。

(2) 电磁感应加热具有升温快、热效率高、寿命长、安全性好、易于控制、对周围环境不产生热辐射以及非接触式加热等优点。

(3) 设备结构简单，易于操控，方便及时观察胶粉在不同温度下的粘结、融化、裂解情况。

(4) 电能可以全部转化为金属棒的热能，整个过程中，金属棒和线圈没有任何物理接触，能量的转换，完全由磁场涡流和金属感应完成。

### 2 装置设计

研究的目的是利用电磁加热原理，设计一种胶粉裂解实验装置。根据胶粉的裂解实验，得出裂解胶粉的最佳工艺条件，为后续的大型胶粉电磁裂解设备的设计提供参考。

胶粉电磁裂解实验装置如图 2、图 3、图 4 所示，主要由裂解炉（上部壳体和下部壳体组成）、加热器（线圈）、断续搅拌螺旋、出气管道、加热控制器、冷凝器、温度传感器等组成。



图 2 胶粉电磁裂解设备布置图

裂解机构缠绕电磁加热线圈，加料后盖上上部壳体，用卡箍卡紧，通电后通过加热器控制箱调节线圈电流频率，电流产生的涡流使物体内部的原子高速无规则运动，原子间互相碰撞、摩擦，产生热能使料筒自行高速发热，从而达到加热的目的。即通过把电能转化为磁能，使被加热钢体感应到磁能而发热的一种

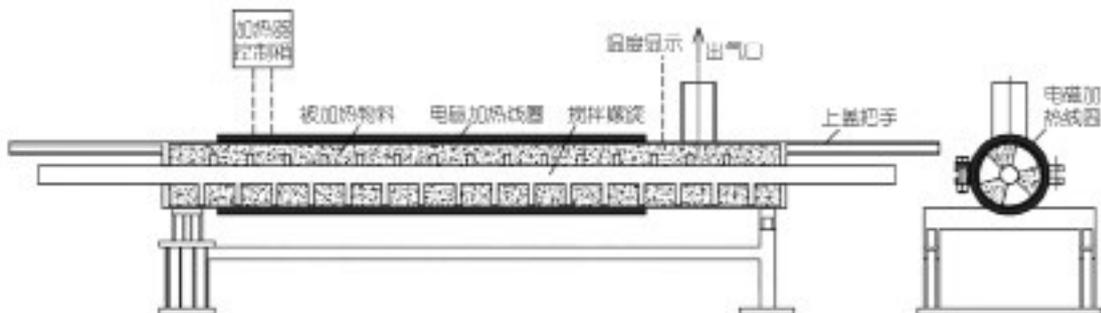


图 3 胶粉电磁裂解设备装配示意图

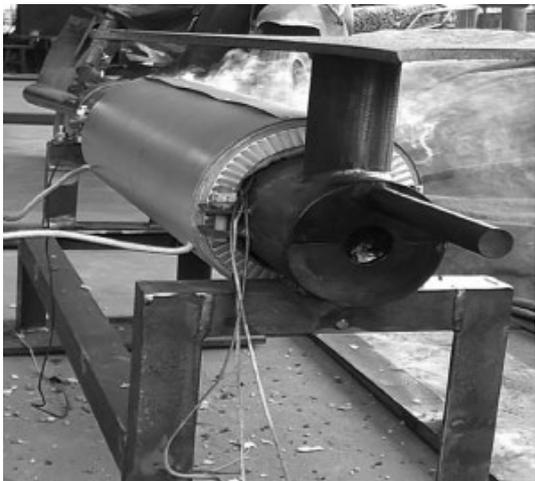


图4 胶粉电磁裂解实验装置实物图

加热方式,来进一步达到裂解的目的。裂解气出口通过管道与尾气处理装置连接,并进行收集<sup>[6]</sup>。

上部壳体图如图5、图6所示,上部壳体2采用 $\Phi 108$ 的无缝钢管,上盖把手1为无缝管 $\Phi 17 \times 2$ ,出气口3为 $\Phi 3.57$ 无缝管,4为堵头,5为连接上下壳体的连接板。

下部壳体及连接板如图7、图8所示,结构与上部壳体类似并且有机架支撑。

搅拌螺旋设计如图9所示,杆设计成断续搅拌杆,实验时用于搅拌物料,旨在使物料加热均匀,物料得以裂解均匀。

图10为电磁加热控制器(频率控制器),其性能参数如表1所示。

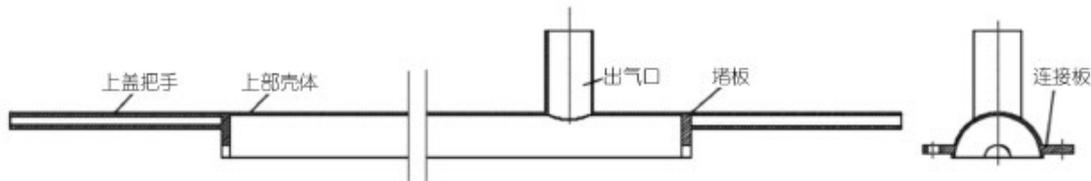


图5 上部壳体焊接图



图6 上部壳体实物图



图10 加热控制器



图7 下部壳体结构图

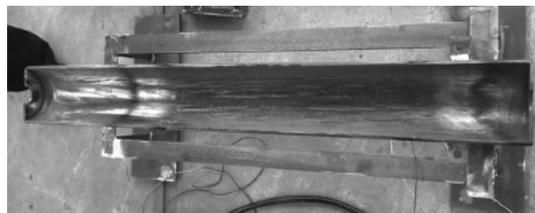


图8 下部壳体分实物图



图9 搅拌螺旋

表1 加热控制器性能参数

名称	参数
额定功率	5 kW
额定电压频率	AC380V/50 Hz
电压适应范围	AC380V10
适应环境温度	-20~50 ℃
适应环境湿度	95%
功率调节范围	20%~100% 无级调节
热转换效率	95%
有效功率	85%
工作频率	5~40 kHz
主电路结构	全桥式串联谐振

总结整个设计过程,归纳设计创新点如下:

(1) 实现资源循环利用。具有环境污染小、加热效率高、预热时间短、温度容易控制以及非接触式加热等优点

(2) 结构简单便于拆卸。本实验设备结构简单,易于操控,料筒是由上部壳体和下部壳体两部分组成,方便及时观察胶粉在不同温度下的粘结、融化、裂解

情况。

(3) 充分发挥电磁优势。线圈通电产生高频磁场，从而使得处于线圈中金属棒受磁场感应而发热。电能可以全部转化为金属棒的热能，整个过程中，金属棒和线圈没有任何物理接触，能量的转换，完全由磁场涡流和金属感应完成，而且机筒表面有保温棉包裹，减少热量散失，能量利用率高而且避免了热解工艺中焦化问题，提高了油品质量和出油率。

### 3 实验研究

实验装置设计制作完成之后，针对胶粉物料，我们开展相应的实验，实验具体流程和分析如下。

#### 3.1 实验流程

具体的实验流程如下，分成以下6步。

##### 3.1.1 准备工作

先将固定上下壳体的卡箍拆下，再把上部壳体抬起，然后将胶粉物料倒入下部壳体内，待其没过搅拌轴的2/3时，将上部壳体用卡箍卡紧。

##### 3.1.2 套上线圈

将温度传感器固定在其相应的位置，然后将线圈套在料筒上，并将线圈接到加热控制器上，并检查线路是否完好。

##### 3.1.3 开启电源

接通电源，检查设备是否正常运行。图11为装配后的电磁裂解实验装置。



图 11 电磁裂解设备

##### 3.1.4 调节温度加热器

调节温度加热器到需要实验的相应的工作频率。

##### 3.1.5 打开

达到设定时间后，打开上部壳体，将裂解后胶粉取出如图12所示。



图 12 拆开后的实验设备

#### 3.1.6 分析实验数据，得出结论

图13为部分裂解后的胶粉。



图 13 裂解后的胶粉

### 3.2 实验结论

#### 3.2.1 裂解产物分析

裂解产物为炭黑、油、可燃气，其他（杂质），其他（杂质）本项目直接去掉，因此产物为炭黑、油、可燃气三种。裂解油如图14所示。裂解后产生炭黑如图15所示。



图 14 裂解油

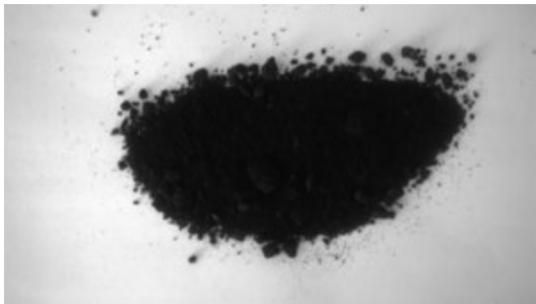


图 15 炭黑

### 3.2.2 实验分析

实验过程中,胶粉有两种状态,即胶粉静态和胶粉动态,针对这两种状态,试验后分析结果如下:

(1) 胶粉静态置于裂解炉内 10 min 时感应加热段只有表层约 1 cm 的距离融化粘结,内部仍保持原有形态。

(2) 胶粉静态置于裂解炉内加热 15 min 时感应加热段表层仅有少量裂解、芯部基本熔融,其余部分未熔融。

(3) 胶粉动态置于裂解炉内(人工搅拌)加热 15 min 时感应加热段基本裂解,呈粉末状(已裂解);与第 2 条比较,显然缩短了裂解时间。

(4) 裂解过程中胶粉在出气口位置搅拌轴上有粘附,在位于电磁感应线圈的裂解炉内壁上有少量粘附;

(5) 物料在搅动过程中由于物料搅拌吸热、温度比较均匀,但壁温的升温速度较静态要慢。

(6) 与之前实验比较:静态情况下需加热 25 min (10 min 连续加热+15 min 调整功率保温加热)然后正常冷却裂解,而增加搅拌后加热 15 min(比静态缩

短 10 min) 然后正常冷却裂解达到同样效果。由此可见,增加搅拌即增加了胶粉加热均匀性、提高了传热效率、加快了裂解速度,可缩短裂解时间 40%。

## 4 结论与总结

本文重点研究了胶粉电磁裂解实验原理,设计了全套胶粉电磁裂解实验装置,包括上部壳体、下部壳体、搅拌螺旋和加热控制器组成。裂解实验装置设计制作完成后,对新型胶粉电磁裂解实验装置进行了胶粉裂解实验,实验过程研究了胶粉处于静止和处于动态两种状态下的裂解效果,发现胶粉处于动态状态(搅拌状态)下,较胶粉处于静止状态下胶粉加热均匀性、传热效率、裂解速度均有所提高,裂解时间缩短了 40%。该胶粉裂解装置加热均匀性、传热效率等各方面均具有优良的性能,达到了理想的设计与研究目标,具有较高的学术和实践价值。

### 参考文献:

- [1] 李婷. 浅谈废弃橡胶回收处理循环利用[J]. 乙醛醋酸化工, 2017,2:25-30.
- [2] 李志华, 马涛, 周云杰. 废旧橡胶裂解方式及其工艺设备[J]. 橡胶工业, 2014,61:316-319.
- [3] 胡国华, 张一帆, 张立群. 废橡胶裂解研究进展[J]. 高分子通报, 2019,1-13.
- [4] 蒋家羚, 刘小龙, 刘宝庆. 废轮胎热裂解设备的开发. 化工进展, 2002,21:681-684.
- [5] 张兆红, 杜爱华. 废橡胶热裂解的应用研究进展. 中国资源综合利用, 2011,03,25.
- [6] 李绪超. 搅拌式废旧橡胶连续裂解设备的设计与实验研究[D]. 山东: 青岛科技大学, 2017.

## 印度轮胎巨头宣布 12 亿元的新投资

### Indian tire giant announces a new investment of 1.2 billion yuan

日前,印度轮胎制造商 JK Tyre 宣布,公司计划在未来两年投资 140 亿卢比(折合人民币 12.2 亿元)进行产能扩张。

JK 轮胎公司表示,作为此举的一部分,这家总部位于新德里的制造商计划投资 100 亿卢比(折合人民币 8.7 亿元),将乘用车轮胎(PCR)的产能扩大 16%。

JK 轮胎补充道,还将投资 40 亿卢比(折合人民币 3.5 亿元),以提高越野和卡客车子午线轮胎的产量,使产能略有增加。

目前 JK 轮胎的总产能为每年生产 3 400 万条轮胎,包括 1 500 万条乘用车轮胎的产能;400 万条载重子午胎的产能;剩余还包括载重斜交胎,两轮和三轮车胎,以及非公路轮胎。

该项目将在未来 18~20 个月内完成,部分资金将来自 1 月份完成的 50 亿卢比的新一轮融资。

摘自“中国轮胎商务网”

(R-03)