

基于 Fluent 的废旧轮胎裂解反应炉关键参数的研究

董志强,姜莉莉,张灿为

(广东工业大学 机电工程学院,广东 广州 510006)

摘要:运用 Fluent 软件对裂解反应炉进行流体热力学模拟仿真分析,通过综合速度矢量场、温度场以及热效率等因素最终确定最佳炉膛尺寸为 0.3 m。设备实际运行结果表明,炉膛尺寸为 0.3 m 时出油率超过 45%,燃料利用率高,产品质量符合油品质量标准,排放物符合国家锅炉大气污染物排放标准。

关键词:废旧轮胎;裂解设备;反应炉;关键参数;仿真分析

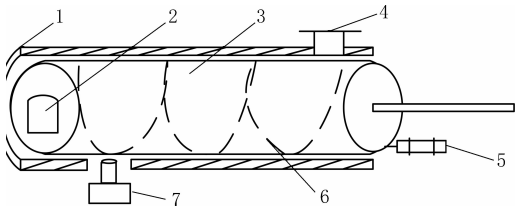
中图分类号:TQ336.1;TQ330.4⁺92 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2014)12-0750-04

近年来,伴随着废旧轮胎引发的资源浪费和环境污染问题的涌现,废旧轮胎的最佳处理方法成为公众关注的焦点。利用废旧轮胎制造胶粉和翻新等都不是最终处理方式,这些制品经长时间使用报废后仍是需处理的废旧橡胶制品^[1-3]。目前,热裂解技术被公认为解决废旧轮胎问题的最佳途径之一。前文^[4-5]涉及的废旧轮胎裂解设备在保证高效环保的基础上克服了环境污染,提高了能源利用率,其中裂解设备的关键尺寸——裂解反应炉炉膛尺寸对裂解效果和能源利用率起到了决定性的作用。本工作运用 Fluent 软件对裂解反应炉进行流体热力学模拟仿真分析,通过综合速度矢量场、温度场以及热效率等因素最终确定最佳炉膛尺寸。

1 裂解反应炉工作原理及热分析

裂解反应炉的结构如图 1 所示,工作原理如图 2 所示。反应炉工作过程中,首先由燃烧室燃油燃烧产生高温燃气,高温燃气在反应釜保温层和反应釜筒壁之间(即燃气通道)流动过程中对反应釜壁进行加热,使废旧轮胎在高温下裂解,其中反应釜以一定的速度转动,通过温度传感器检测裂解反应炉的温度,从而调节燃烧器的火力大小,将炉膛温度控制在 650 ℃ 以下、反应釜内温度低

于 400 ℃,从而保证较好的裂解效果。回转运动使高温气体和废旧轮胎胶料周期性地与反应釜筒壁进行间歇接触,反应釜筒壁从高温气体吸收热量后,再传递给废旧轮胎胶料,同时使废旧轮胎胶料表面、转动壁面和釜内裂解气体之间的热导率与无回转运动时有所改变。对于废旧轮胎胶料的裂解,由于裂解气迅速排出冷凝,其对未裂解废旧轮胎胶料的辐射换热、气体对流的影响不是很大,因此主要的裂解热源是筒壁通过导热方式传递给物料进行加热,完成裂解反应。



1—保温外壳;2—进料口;3—裂解反应釜;4—烟气出口;
5—反应釜转动装置;6—反应釜螺旋焊板;
7—燃油燃烧器。

图 1 裂解反应炉的结构示意

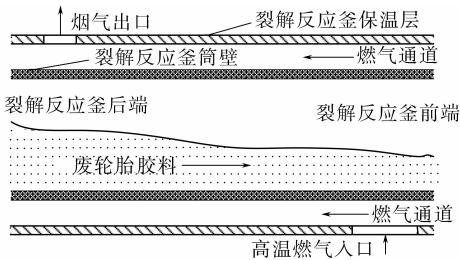


图 2 裂解反应工作原理

基金项目:广东省重大科技项目(2009A080303016)

作者简介:董志强(1987—),男,河南许昌人,广东工业大学在读硕士研究生,主要从事低碳制造技术与装备的研究。

2 模型建立

2.1 网格划分

反应炉中的裂解反应釜呈圆柱筒体空心结构, 长为 6 m, 直径为 2.8 m, 钢板壁厚度为 12 mm, 炭黑、油气出口直径为 0.5 m, 裂解反应釜内表面焊接螺旋板, 螺旋板高度为 12 cm。采用 Gambit 前处理器对反应炉进行建模^[6], 炉膛尺寸取 0.2、0.3 和 0.4 m 进行讨论, 采用三角形网格对模型进行划分, 其结构尺寸网格划分如图 3 所示。

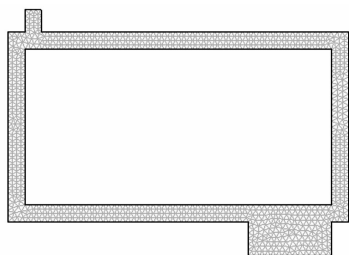


图 3 网格划分

2.2 边界条件设置

高温燃气入口速度为 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 出口条件为 outflow, 高温燃气温度取 1 073 K。裂解釜筒壁材料为钢板, 热导率为 $80 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$, 热传递系数为 $300 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, 保温层壁面为 wall。

2.3 边界条件理论依据

燃烧室的气流状态通过雷诺公式计算判断为湍流, 湍流模型采用标准湍动能(k)-耗散率(ϵ)方程模拟炉膛的温度场分布, 其二个方程模型假定湍流粘度(μ_i)是各向同性的^[7], 其基本输运方程为

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k \mu_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\alpha_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon \mu_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\alpha_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} + G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (2)$$

式中 ρ ——密度;

t ——时间;

μ ——参数;

α_k 和 α_ϵ ——分别为与湍动能和耗散率对应的 Prandtl 数;

G_k ——由平均速度梯度引起的湍动能的

产生项;

G_b ——由浮力引起的湍动能的产生项;

Y_M ——可压缩湍流中脉动扩张的贡献;

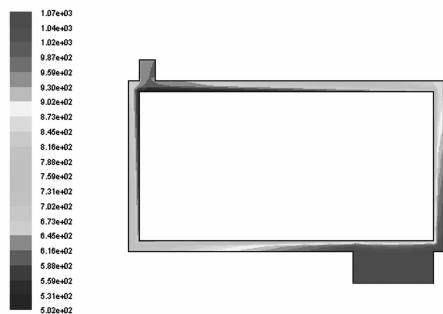
$C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$ 和 $C_{3\epsilon}$ ——经验常数;

S_k 和 S_ϵ ——用户定义的源项。

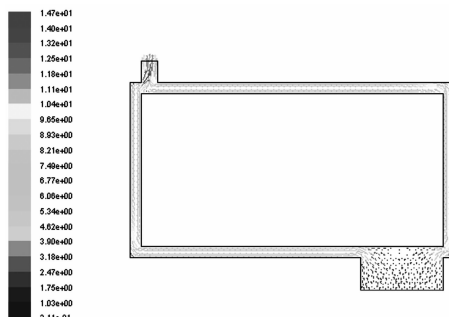
3 结果与分析

图 4~6 分别示出了炉膛尺寸为 0.2(A 组), 0.3(B 组) 和 0.4 m(C 组) 时 Fluent 软件计算得到的温度场和烟气速度矢量场分布。

温度场分析结果表明: A 组燃烧室的温度最高可以达到 1 073 K, 离燃烧室较近的炉膛温度可以达到 1 000 K, 燃烧的高温区主要集中在燃烧室的一部分区域, 烟气出口处的温度为 600 K, 炉膛其他区域的温度基本上不超过 740 K, 整个炉腔低温区域较多, 整个燃烧炉的温差相差比较大; B 组燃烧室的温度最高可以达 1 073 K, 离燃烧室较近的炉膛温度超过了 1 000 K, 燃烧高温区域主要集中于靠近燃烧室近 1 m 区域范围内的炉膛部分和燃烧室, 较为分散, 高温燃气也较为分散, 烟气出口处温度最低为 630 K, 炉膛其他部分的温度基本超过了 800 K; C 组燃烧室和整个

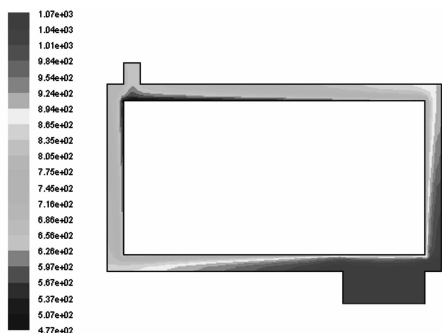


(a) 温度场

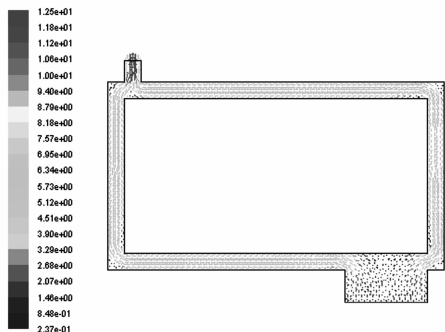


(b) 烟气速度矢量场

图 4 A 组温度场和烟气速度矢量场分布

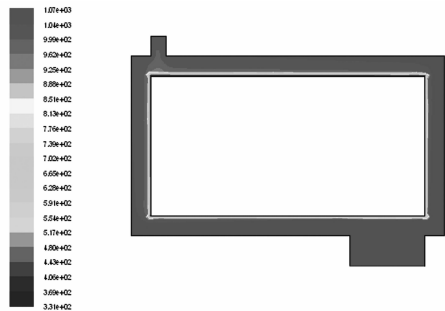


(a)温度场

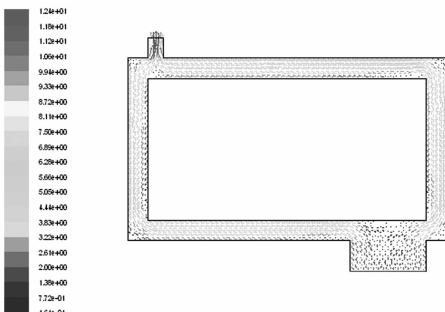


(b)烟气速度矢量场

图5 B组温度场和烟气速度矢量场分布



(a)温度场



(b)烟气速度矢量场

图6 C组温度场和烟气速度矢量场分布

炉膛的温度均可以达到 1 000 K 以上,由于筒壁传递热量导致靠近反应釜壁处温度下降明显,烟

气出口温度达到 980 K。可见,在温度场分布方面 A 组最差,B 组次之,C 组最优。

经过计算得出,A 组的热效率为 57.89%,B 组为 55.10%,C 组为 8.94%。可见,C 组热效率最低,A 组和 B 组热效率相差较小且都超过了 50%。

烟气速度矢量场分析结果表明:A 组整个炉膛的烟气流动速度快,较密集,烟气出口速度为 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,大部分区域的流速可达到 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;B 组炉膛的烟气流动速度较快,较分散,烟气出口速度为 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,大部分区域流速为 $5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;C 组炉膛的烟气流动速度慢,分布分散,烟气出口速度为 $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,大部分区域流速为 $4.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。可见,A 组气体流速最快,B 组和 C 组气体流速适中。

对比温度场分布、热效率和烟气速度矢量场的模拟结果可知,B 组综合效果最佳,即最佳炉膛尺寸为 0.3 m。

4 实际验证

采用炉膛尺寸为 0.3 m 的裂解反应炉为废旧轮胎裂解设备裂解轮胎进行实际验证。结果表明,出油率超过 45%,燃料利用率高,产品质量经检测符合油品质量标准,排放物符合国家锅炉大气污染物排放标准,达到了设计的预期效果。

参考文献:

- [1] 席国喜,杨文洁.废旧轮胎回收利用新进展[J].化工科技市场,2008(9):48-52.
- [2] 任志伟,孔安,高全胜.我国废旧轮胎的回收利用现状及前景展望[J].中国资源综合利用,2009,27(6):12-14.
- [3] 董诚春.废轮胎回收加工利用[M].北京:化学工业出版社,2008:8.
- [4] 王滔,姜莉莉.高效环保型废旧轮胎裂解设备燃油供给系统研究与设计[J].橡胶工业,2010,59(3):180-183.
- [5] 张胜,姜莉莉.基于 PLC 的废旧轮胎热裂解自控系统[J].化工自动化及仪表,2011,38(11):1409-1410.
- [6] 黄卫星,陈文梅.工程流体力学[M].北京:化学工业出版社,2002:35-36.
- [7] 韩占忠.Fluent 流体工程仿真计算实例与分析[M].北京:北京理工大学出版社,2009:23-25.

Study on Key Parameters of Waste Tire Pyrolysis Reactor Based on Fluent Software

DONG Zhi-qiang, JIANG Li-li, ZHANG Can-wei

(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The pyrolysis reactor was thermodynamically simulated and analyzed by using Fluent software, and the optimum dimension of furnace chamber was determined at 0.3 m by taking consideration of velocity vector field, temperature field and thermal efficiency. The practical operation showed that, the oil yield rate was over 45%, the utilization ratio of fuel was high, the quality of the product met the requirements of the oil quality standard, and the emission met the requirements of national emission standard of air pollutants.

Key words: waste tire; pyrolysis equipment; reactor; critical parameter; simulated analysis

2014 年橡胶机械年会暨产品升级 交流会在益阳召开

中图分类号: TQ330.4 文献标志码: D

2014 年 10 月 19—21 日, 2014 年橡胶机械年会暨产品升级交流会在湖南益阳召开。来自橡胶机械生产企业、橡胶机械配套件生产企业、橡胶行业以及媒体等单位的代表参加了会议。

益阳橡胶塑料机械集团董事长兼总经理张俊山致开幕词。益阳市副市长周振宇、中国橡胶工业协会名誉会长范仁德、中国化工装备协会领导赵敏、中国化工装备协会橡胶机械专业委员会主任委员周宝弟等分别发表讲话。会上, 对邓天奎等 17 位橡胶机械专业委员会先进工作者进行了表彰。会议决定橡胶机械专业委员会延长 1 年至 2015 年下半年换届。

我国轮胎工业已进入转型升级期, 面临去产能化的压力。中国化工装备协会橡胶机械专业委员会名誉主任李东平做了主题为“转型期间我国橡胶机械行业的出路与策略”的报告。报告从轮胎工业现状、橡胶机械行业现状和行业思考 3 个方面进行了详细阐述。报告指出, 轮胎生产企业应对橡胶机械设备进行升级, 使用高端设备装备轮胎工厂。例如在轮胎硫化设备方面, 采用一次法炼胶工艺并使用液压硫化机, 发展高自动化成型设备和高效上辅机系统; 在非轮胎硫化设备方面, 发展联动式平板机和连续挤出成型硫化生产

线等高效、高自动化程度设备, 以推进产品升级。

我国橡胶机械行业已随轮胎行业同步高速发展多年, 2001 年至 2013 年期间销售收入年复合增长率为 16%, 已进入结构性过剩阶段。会议就橡胶机械行业的现状、机遇及转型升级进行了广泛而深入的交流, 认为轮胎工业转型升级给橡胶机械行业带来挑战和机遇, 我国橡胶机械行业只有在产品升级、绿色化、标准化、信息化和国际化等方面下功夫, 才可能迎来行业的新发展。

为促进轮胎行业的转型和发展, 中国橡胶工业协会正在研究和编制《绿色轮胎企业自愿声明制度实施办法》, 在轮胎行业形成一整套绿色轮胎生产工艺和标准化生产模式, 并建立轮胎分级制度。未来 5 年内, 轮胎企业应着力淘汰并停止销售老旧落后和高耗能橡胶机械设备, 逐渐淘汰蒸汽热源, 向新热源方向发展; 开发防止粉尘污染和降低噪声污染的技术与设备; 不断完善标准体系, 扩大产品标准的覆盖面; 运用信息化全面改造我国传统橡胶机械, 提高自动化水平和劳动生产率; 努力实现从标准、设计、制造、销售、服务与世界全面接轨, 争取更多的橡胶机械商机。

在我国轮胎产业产能过剩的大背景下, 对橡胶机械的需求显著减少, 行业竞争更加激烈。为此, 会议倡导橡胶机械生产企业围绕产品升级提高产品质量, 以促进行业健康发展。

(本刊编辑部 孙斯文)