

波导管中调谐螺钉位置对废橡胶裂解能耗的影响

李志华, 郭 楠

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:为降低废橡胶的裂解能耗,应用HFSS仿真软件模拟分析波导中放置调谐螺钉的位置对废橡胶裂解传输功率的影响。结果表明,沿着垂直于馈电端口的方向改变调谐螺钉的位置对微波的传输效率不产生影响,在BJ-22标准矩形波导中,当密封隔板材料为石英、厚度为4 mm、调谐螺钉的直径为6 mm时,调谐螺钉的最佳位置为距离馈电端口71 mm处,最佳探入深度为19 mm,此时的能量传输效率为99.884 9%。

关键词:波导管;调谐螺钉;废橡胶;裂解

中图分类号:TQ335;O241.82 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2018)-0000-03

废橡胶主要来源于废轮胎、废胶管、废胶鞋和废胶带等橡胶制品,其次来源于橡胶制品生产过程中产生的边角料和废品,属于工业固体废料^[1]。废橡胶属于热固性聚合物材料,在自然条件下难以降解。它不溶于水,难溶于有机溶剂,弃于地表或埋于地下几十年都不会腐烂变质^[2]。大量的废橡胶对环境造成了污染,且是一种资源浪费。在自然资源日趋减少和能源相对紧缺的今天,应用现代科技手段实现废橡胶高值化再利用具有重大意义^[3]。

废橡胶裂解受到国内外专家学者的关注^[4],通过多年的探索和研究,裂解被公认为处理废橡胶的最佳途径之一,可实现废橡胶的高值化循环再利用^[5]。

微波裂解是废橡胶裂解的新兴方向。与传统裂解不同,微波裂解无需通过外部热传导,而是直接向废橡胶内部辐射微波电磁场,其粒子运动摩擦产生热量使其发生断键分解。微波裂解具有升温速率快、受热均匀和环境清洁等特点^[6]。由于废橡胶在裂解过程中会产生大量可燃气体,为防止可燃气体从裂解设备的腔体沿波导管进入微波发生器而导致其损坏,在波导管中设置了密封隔板(高温透波材料)^[7],但密封隔板的设置使得驻波比和局部场强增大,提高了微波反射率,不仅微波能损耗增大,密封隔板也因温升易破碎,造成微

波发生器损坏。为解决因设置密封隔板导致的微波反射率过大问题,可以考虑在微波发生器与密封隔板之间的波导管某个位置设置调谐螺钉,相当于在微波发生器与密封隔板之间加入一个匹配装置,使反射仅存在于调谐螺钉与密封隔板之间,密封隔板反射回来的能量再次被调谐螺钉反射回去,从而降低微波发生器的驻波比。

本工作采用HFSS三维结构电磁场仿真软件,对波导管中设置调谐螺钉进行仿真分析,得到调谐螺钉在波导管中的最佳位置和最佳探入深度,从而为降低废橡胶裂解能耗提供依据。

1 散射参数

散射参数又称为S参数,表示微波功率的传输和损耗。S参数包括 S_{11} 和 S_{21} , S_{11} 表示微波功率的反射损耗,即从馈电端口1发射出去的能量经反射重新回到端口1的能量; S_{11} 越小,反射损耗越小,微波的反射率越低,微波能利用率越高。 S_{21} 表示微波功率的有效传输,即馈电端口1发射出去的微波能经有效传输到达端口2的能量, S_{21} 越大,有效传输越大,微波能的利用率越高。波导管模型见图1。

以 P 表示微波入射功率, P_1 表示端口1到端口2的微波传输功率, P_2 表示微波反射功率,S参数用对数形式表示,对应关系如下:

$$S_{11} = 10 \lg(P_2/P) \quad (1)$$

$$S_{21} = 10 \lg(P_1/P) \quad (2)$$

根据式(1)和(2)分别求出对应的效率为:

作者简介:李志华(1964—),男,山东潍坊人,青岛科技大学教授,硕士,从事高分子材料加工装备及技术的教学和科研工作。

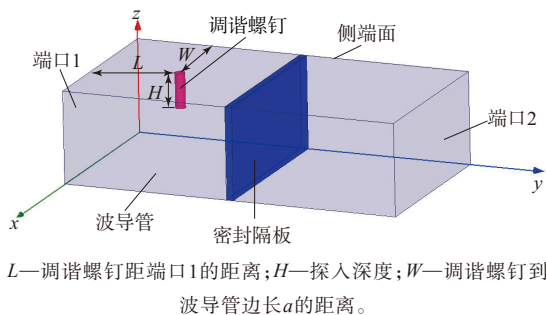


图1 设置调谐螺钉的波导管模型

$$\eta_1 = (P_2/P) \times 100\% = 10^{\frac{S_{11}}{10}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\eta_2 = (P_1/P) \times 100\% = 10^{\frac{S_{21}}{10}} \times 100\% \quad (4)$$

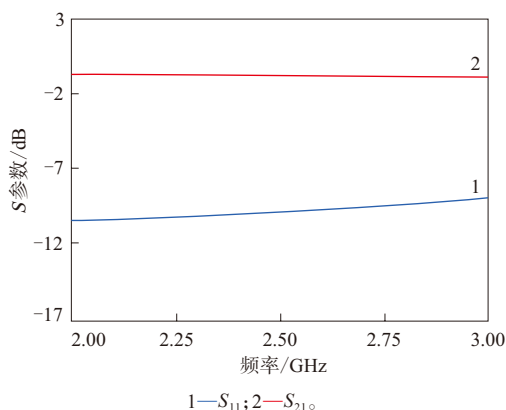
式中, η_1 为能量反射效率, η_2 为能量传输效率。

2 有限元仿真及分析

新设计的废橡胶微波裂解设备选用BJ-22标准矩形波导管^[8], 截面边长 a 为109 mm, b 为54 mm, 波导管总长度为200 mm; 密封隔板材料为石英, 厚度为4 mm, 相对介电常数为3.78, 相对磁导率为1, 密封隔板设在波导管的中间位置。波导管侧面设置为理想金属导体边界条件, 两端面馈口的激励方式为波端口激励, 工作频率为2.45 GHz。

2.1 波导管未设置调谐螺钉

对设置密封隔板而未设置调谐螺钉的波导管模型进行仿真, 求解频率范围设置为2~3 GHz, 得到此时 S 参数随频率的变化曲线如图2所示。

图2 未设置调谐螺钉时的参数 S_{11} 和 S_{21} 变化曲线

通过仿真结果可知, 在频率为2.45 GHz时, $S_{11} = -9.9169$, $S_{21} = -0.4670$, 计算可得 $\eta_1 = 10.1932\%$, $\eta_2 = 89.8049\%$ 。设置密封隔板而未设置调谐螺钉时微波的反射率较高, 传输效率较

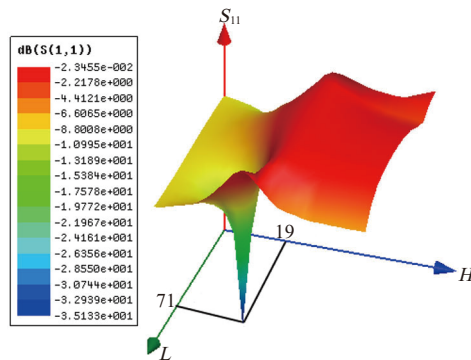
低。设置密封隔板后不仅能耗增加, 由于反射率的提高会使微波发生器和密封隔板的损坏可能性也增加。

2.2 设置调谐螺钉的 L 和 H

设置调谐螺钉直径为6 mm、长度为54 mm, 材料为不锈钢, 相对介电常数为1, 相对磁导率为1, 设置在端口1与密封隔板之间, 两侧端面之间的波导管中(见图1)。

设定 W 为54.5 mm, L 在3~95 mm连续变化, H 取值范围为0~54 mm, 考虑到双变量求解 S 参数计算量较大, 首先将 L 的求解步长设置为4 mm, H 的求解步长设置为2 mm。

仿真得到参数 S_{11} 随 H 和 L 变化的曲面见图3。

图3 参数 S_{11} 随 H 和 L 的变化曲面

由图3可见: 从 H 方向上看, H 取值不同, S_{11} 取得极值点时所对应的 L 值并不同, 分布在67~75 mm之间; 由 L 方向上看, S_{11} 取得极值点时所对应的 H 值也不同, 分布在17~23 mm之间。仿真得到的 S_{21} 随 H 和 L 变化的曲面图与 S_{11} 的极值点分布值一致。为满足仿真精确, 设置 L 的取值范围为67~75 mm, 求解步长为1 mm, H 的取值范围为16~23 mm, 求解步长为1 mm。仿真得到参数 S_{11} 和 S_{21} 如表1所示。

从表1可以看出, 当 $L = 71$ mm, $H = 19$ mm时, S_{11} 达到最小值, 同时 S_{21} 达到最大值, 此时 $S_{11} = -35.1329$, $S_{21} = -0.0050$, 计算可得 $\eta_1 = 0.0307\%$, $\eta_2 = 99.8849\%$, 即 $W = 54.5$ mm时, 当 $L = 71$ mm, $H = 19$ mm时, 能够把有密封隔板的不匹配情况调谐到接近于无密封隔板的匹配情况, 解决由于密封隔板的设置导致的反射率过大的情况。

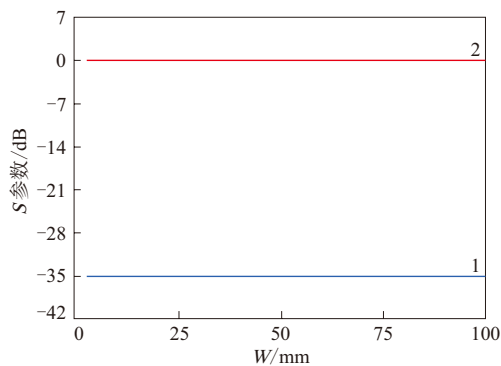
2.3 设置调谐螺钉的 W

设定 $L = 71$ mm, $H = 19$ mm, W 取值范围为

表1 极值领域内各点的参数 S_{11} 和 S_{21}

L/mm	H/mm									
	18		19		20		21		22	
	S_{11}	S_{21}	S_{11}	S_{21}	S_{11}	S_{21}	S_{11}	S_{21}	S_{11}	S_{21}
68	-21.422 5	-0.034 3	-23.612 3	-0.024 7	-18.904 8	-0.061 9	-14.262 9	-0.174 0	-10.451 8	-0.422 0
69	-22.231 8	-0.028 7	-27.522 9	-0.011 5	-21.323 4	-0.037 5	-15.261 7	-0.139 1	-11.014 1	-0.369 6
70	-23.386 3	-0.022 8	-33.890 0	-0.005 4	-24.577 9	-0.020 3	-16.498 2	-0.105 7	-11.882 5	-0.301 7
71	-22.275 8	-0.028 4	-35.132 9	-0.005 0	-25.961 8	-0.015 9	-17.311 6	-0.088 3	-12.333 4	-0.271 5
72	-20.447 2	-0.041 7	-26.020 6	-0.014 2	-24.405 2	-0.020 5	-17.657 2	-0.081 6	-12.560 6	-0.257 4
73	-19.796 6	-0.048 3	-22.077 0	-0.030 1	-21.848 8	-0.032 8	-17.346 4	-0.086 9	-12.420 5	-0.265 6
74	-17.692 6	-0.076 8	-19.403 6	-0.053 1	-19.222 0	-0.056 5	-16.302 7	-0.108 9	-12.455 8	-0.262 6

3~106 mm,每变化1 mm仿真一次。仿真得到 S 参数随 W 的变化曲线如图4所示。



注同图2。

图4 S 参数随 W 的变化曲线

由图4可以看出,随着 W 的变化, S_{11} 和 S_{21} 保持不变, $S_{11}=-35.132\ 9$, $S_{21}=-0.005\ 0$,与表1中对应的数值完全一致。进一步的多次仿真也得到了任意改变 L 和 H ,仿真后得到的 S 参数只与 L 和 H 有关,而不随 W 的变化发生变化。

3 结论

(1) 在设有密封隔板的波导管中设置调谐螺钉可以降低驻波比,改善密封隔板导致的微波反射率过大情况。

(2) 沿着垂直于馈电端口的方向改变调谐螺钉的位置对微波的传输效率不产生影响,调谐螺

钉的最佳位置只与波导管传输方向有关。

(3) 在馈电端口与密封隔板之间存在调谐螺钉的最佳放置位置和最佳探入深度。在BJ-22标准矩形波导中,当密封隔板的材料为石英,厚度为4 mm,调谐螺钉的直径为6 mm时,调谐螺钉的最佳位置为距离馈电端口71 mm处,最佳探入深度为19 mm,此时的能量传输效率为99.884 9%。

(4) 试验数据验证了仿真结果,即在馈电端口与密封隔板之间合理放置调谐螺钉,可以有效提高微波传输率,有利于节能降耗。

参考文献:

- [1] 袁德明,刘冬,廖克俭. 废旧橡胶粉改性沥青研究进展[J]. 合成橡胶工业,2007,30(2):159-162.
- [2] 姚燕,崔琪,赵君,等. 废旧橡胶应用的新领域[J]. 世界橡胶工业,2009,36(5):40-46.
- [3] 姜敏,寇志敏,彭少贤. 废旧橡胶回收与利用的研究进展[J]. 合成橡胶工业,2013,36(3):239-243.
- [4] 赵文瑾,刘佳. 废轮胎(橡胶)热裂解回收利用的新进展[J]. 橡塑技术与装备,2010,36(7):10-15.
- [5] 蒋家羚,刘小龙,刘宝庆. 废轮胎热裂解设备的开发[J]. 化工进展,2002,21(9):681-684.
- [6] 张天琦,崔献奎,张兆镗. 微波加热原理、特性和技术优势[J]. 筑路机械与施工机械化,2008,25(7):10-14.
- [7] 李志华,马涛,王田荣. 波导管隔板对废橡胶裂解传输功率的影响[J]. 橡胶工业,2015,62(6):367-370.
- [8] GB/T 11450.2—1989,普通矩形波导有关规范[S].

收稿日期:2016-09-05

Influence of Tuning Screw Position in Waveguide on Pyrolysis Energy Consumption of Waste Rubber

LI Zhihua, GUO Nan