

基于太赫兹技术的轮胎用覆胶钢丝帘布厚度检测

杭柏林^{1,2}, 安昌喜^{1,2}, 王鸿伟¹, 刘 展¹

(1. 青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061; 2. 青岛万龙智控科技有限公司, 山东 青岛 266042)

摘要:建立了基于太赫兹技术时域的轮胎用覆胶钢丝帘布厚度检测方法。对覆胶钢丝帘布的厚度进行静态检测,得到样品不同层面反射波强度信息;通过对反射波波动出现的时间进行分析计算,得到覆胶钢丝帘布的厚度及覆胶厚度。试验结果表明,利用太赫兹技术可以对覆胶钢丝帘布的厚度进行检测,其准确度和稳定性达到测定要求。

关键词:太赫兹技术;覆胶钢丝帘布;厚度;检测

中图分类号:TQ336.1;TQ330.38⁺9

文献标志码:B

文章编号:1000-890X(2019)07-0555-05

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2019.07.0555

近年来,随着我国公路交通的快速发展,轮胎作为汽车的主要配件与战备物资,产量也迅速增长。虽然我国轮胎产量巨大,但是轮胎品质已成为我国轮胎产业发展的一个瓶颈。轮胎生产工艺流程复杂,钢丝帘布作为轮胎的重要组成部件,其质量决定着轮胎的品质,覆胶钢丝帘布厚度是其重要的控制指标之一^[1]。

太赫兹技术作为一项新兴的检测技术近几年得到了高度重视,凭借其能级低、不产生电离辐射、能够穿透大多数非金属材料、对水分子等大多数极性分子吸收强烈等独特的性质^[2-4],在食品、安检、医疗、航天等领域得到应用^[5-9],但在轮胎生产领域的应用还是空白。

本工作以太赫兹理论与技术建立钢丝帘布厚度的检测方法,验证太赫兹技术在轮胎覆胶钢丝帘布厚度及覆胶厚度测定中应用的可行性。

1 实验

1.1 样品

测试样品为轮胎用覆胶钢丝帘布,长度为330 mm,宽度为75 mm,两面覆胶、中间钢丝帘线直径

为0.5 mm。平放时,定义上面为A面,下面为B面,取2个测试线,分别为部位 I 和部位 II,见图1。

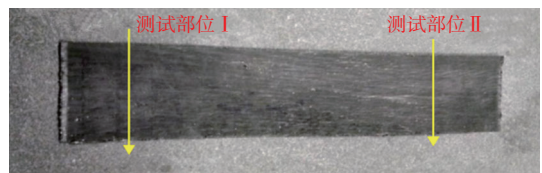


图1 覆胶钢丝帘布测试样品

1.2 检测要求

钢丝帘布的作用是增强橡胶,抵抗张力。其截面和检测项如图2所示。



δ —钢丝帘布厚度; δ_1 —上表面覆胶厚度; δ_2 —下表面覆胶厚度; d —钢丝帘线直径。

图2 覆胶钢丝帘布截面和检测项

覆胶钢丝帘布各项检测精度要求见表1。

1.3 测试仪器

美国API公司的T-Ray 5000系列太赫兹系统,

表1 覆胶钢丝帘布各项检测精度要求 mm

项 目	测量范围	标准偏差	质量控制标准
δ	0.5~8	0.016	
δ_1	0.5~4	0.016	≥ 0.2
δ_2	0.5~4	0.016	≥ 0.2
d	0.5~5	0.016	

注:分辨率均为0.01 mm,允许误差均为0.05 mm。

基金项目:青岛市应用基础研究计划项目(17-1-1-93-jch);
青岛市科技创新平台建设计划项目(17-6-3-18-gx)

作者简介:杭柏林(1959—),男,内蒙古通辽人,青岛科技大学研究员,硕士,长期从事高分子材料及其产品检测技术的研究与高分子产品的开发工作。

E-mail:hbl@wanlongsys.com

主要包括太赫兹波发射与接收模块、太赫兹智能控制单元(TCU)和连接线。T-Ray 5000智能化系统在波形窗口宽度和波形采集频率、配件的输入/输出、高速信号的信噪比及单机的波形处理等方面表现优异,同时满足严格的温度、冲击和振动的性能要求。

T-Ray 5000智能控制单元(TCU)主要功能包括:(1)提供激光驱动器和电气连接到光纤耦合的太赫兹模块;(2)提供快速的光学延迟扫描器以采集太赫兹波波形;(3)对配件提供可选的数字和编码器输入/输出(I/O);(4)数字化太赫兹波形;(5)执行数值分析,并通过以太网向用户报告检测结果。

该系统参数如下:扫描频率 100 Hz,快速扫描范围 320 ps,脉冲宽度 0.5~3 THz,信噪比(60 s平均值) >80 dB,最大空间分辨率 150 μm 。

1.4 测量原理

太赫兹是指频率介于0.1~10 THz的电磁波,传播速度与可见光相同,具有与可见光同样的反射、折射和透射特性,但对可见光无法透射的大多数非金属和非极性材料如塑料、树脂、纸张等具有良好的穿透能力,本试验利用其穿透和反射特性检测钢丝覆胶帘布各层面厚度,检测原理如图3所示。

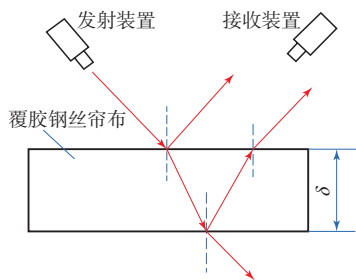


图3 覆胶钢丝帘布厚度测量原理示意图

通过分析太赫兹波在不同层面反射波强度的变化,确定上层表面和下层表面反射波出现的时间,根据两个面产生的反射波峰的时间差,得到样品的厚度。对于单层样品,可以利用下式计算 δ :

$$\delta = \frac{\Delta T}{2} \times \frac{0.29979}{R_1} \quad (1)$$

式中, ΔT 为相邻峰值信号之间的时间差,ps; R_1 为被测材料的折射率,对于橡胶材料,其值为2.5左右。

1.5 试验方法

轮胎企业在生产覆胶钢丝帘布时,其钢丝帘线的技术参数是确定的,在 d 已知的情况下,只要测出 δ 和 δ_1 , δ_2 由下式计算:

$$\delta_2 = \delta - \delta_1 - d \quad (2)$$

试验方法如图4所示。由接收装置接收来自钢丝帘布上表面和下表面反射波的时间计算 ΔT ,由式(1)可计算出 δ 。由接收装置接收到来自上表面和钢丝帘线上表面反射波的时间计算 ΔT_1 ,由式(1)可计算出 δ_1 。 δ_2 可由式(2)得到。

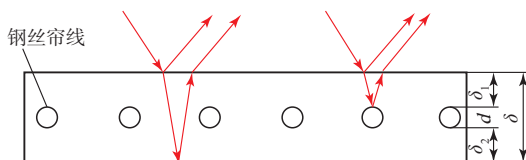


图4 覆胶钢丝帘布厚度测量原理示意图(d 已知)

轮胎企业生产覆胶钢丝帘布时,在其钢丝帘线的 d 不确定的情况下,要测出 δ , δ_1 和 δ_2 ,试验方法如图5所示。 δ 和 δ_1 的测量方法同上;在覆胶钢丝帘布下方增加一组太赫兹波发射和接收装置即可。

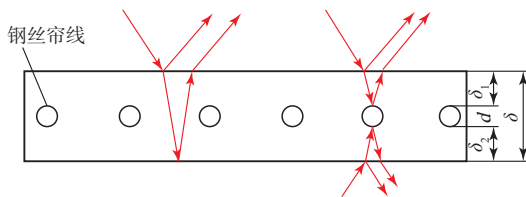


图5 覆胶钢丝帘布厚度测量原理示意图(d 未知)

R_1 是光在真空(空气)中的传播速度与在介质中的传播速度的比值,由下式计算得出:

$$R_1 = \frac{\Delta T}{2} \times \frac{0.29979}{\delta} \quad (3)$$

针对覆胶钢丝帘布测试样品,找无钢丝帘线的部位,采用如图3所示的测试方法,可得到不同层面反射波到达的时间差 ΔT ,再测量 δ ,带入式(3)计算橡胶材料的 R_1 。

1.6 数据采集

本次试验选定样品的 d 为已知,采用图4所示试验方法进行试验。在覆胶钢丝帘布上选取测试部位I和II,选取的数据采集点如图6所示,两处分别有12个数据采集点,每两个数据采集点相隔6 mm。首先对T-Ray 5000系列太赫兹系统进行参数设置,然后在覆胶钢丝帘布表面A沿直线进行扫描和数据采集,得到覆胶钢丝帘布表面A在测试部

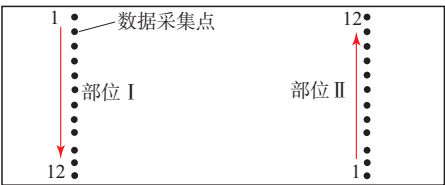


图6 T-Ray 5000太赫兹系统数据采集点示意图
部位 I 和 II 处的太赫兹反射波强度信息。

图7所示为单一点的太赫兹反射法检测覆胶钢丝帘布厚度,可以清楚地看到覆胶钢丝帘布上、下表面和钢丝帘线顶部反射波所引起的振幅波动。为验证覆胶钢丝帘布厚度测量的准确性,利用太赫兹波对金属片不能穿透的特性,测量时在覆胶钢丝帘布的下面放上金属片,金属片表面反射回太赫兹波,由于金属片与覆胶钢丝帘布下表面有很小的间隙,因此金属片反射波的时间滞后于覆胶钢丝帘布下表面的反射波,从而验证了覆胶钢丝帘布下表面的位置,如图8所示。

2 数据处理及结果分析

2.1 卡尺(或其他量具)测量数据

卡尺测量部位 I 和 II 的平均厚度分别为1.30和1.32 mm。

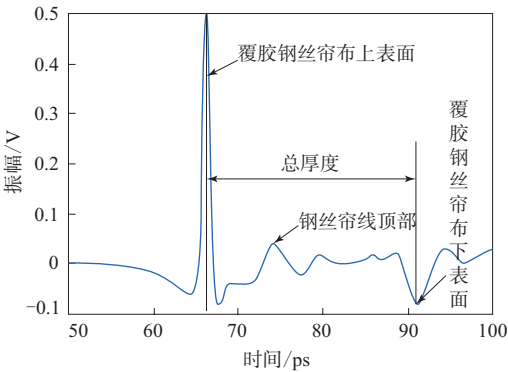
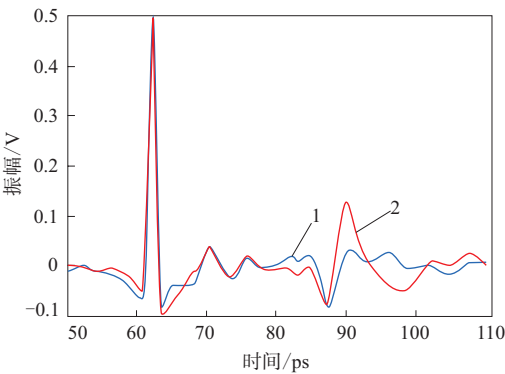


图7 检测覆胶钢丝帘布厚度的反射曲线



1—无金属片;2—有金属片。

图8 覆胶钢丝帘布底部放置金属片的反射曲线

2.2 折射率

依据图7, ΔT 取覆胶钢丝帘布上下表面反射波峰的时间差为25 ps,同时,测量的厚度平均值 δ 为1.31 mm,将 ΔT 和 δ 代入折射率计算式(3),得到 R_1 为2.86。

2.3 厚度数据

按图6规定的点进行测试,得到24个点的信息,分别找出反射面峰值的时间点,计算出上、下表面反射波峰出现时间差 $\Delta T_i (i=1, 2, \dots, 12)$ 、上表面与覆胶钢丝帘布上表面反射波峰出现时间差 ΔT_{1i} ,由式(1)可得到A面部位 I 和 II 各测量点的厚度 (δ_{Ai}) 和覆胶厚度 (δ_{1Ai}),如表2所示。

表3是A面测得的厚度经过计算得到的极差、平均值和标准偏差,标准偏差以卡尺测量值计算得到。

由表3可见,太赫兹反射法测定覆胶钢丝帘布A面部位 I 和 II 厚度的最大极差为0.021 mm,最大标准偏差为0.006 1 mm,满足允差不大于0.05 mm、标准偏差不大于0.016 mm的要求,平均值与卡尺测量结果符合度较高,表明该检测方法准确度较高,且稳定可行。

表2 覆胶钢丝帘布由A面测得的厚度 δ_{Ai} 和 δ_{1Ai}

mm

部位	数据采集点											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
δ_{Ai}												
部位 I	1.304	1.296	1.304	1.302	1.294	1.303	1.301	1.296	1.307	1.310	1.302	1.301
部位 II	1.309	1.313	1.329	1.323	1.318	1.330	1.322	1.319	1.323	1.312	1.319	1.322
δ_{1Ai}												
部位 I	0.403	0.410	0.416	0.413	0.412	0.414	0.403	0.404	0.403	0.405	0.409	0.413
部位 II	0.435	0.432	0.428	0.432	0.423	0.433	0.429	0.423	0.434	0.437	0.433	0.429

表3 检测结果与已知覆胶钢丝帘布厚度对比 mm

测试部位	覆胶钢丝帘布厚度		极差	标准偏差
	卡尺测量值	太赫兹法平均值		
A面部位 I	1.30	1.302	0.013	0.004 7
A面部位 II	1.32	1.320	0.011	0.006 1

太赫兹法覆胶钢丝帘布总厚度检测曲线如图9所示,A面检测的平均厚度为1.302~1.320 mm。

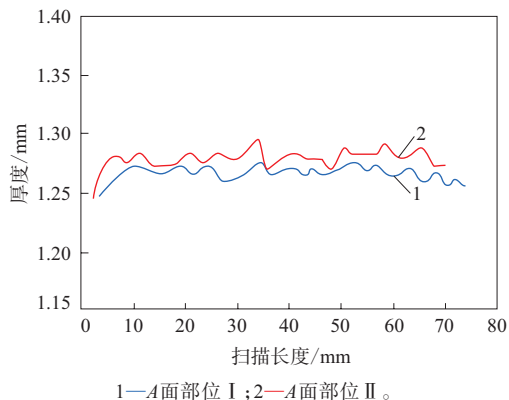


图9 太赫兹法由A面测得的覆胶钢丝帘布厚度曲线

覆胶钢丝帘布样品从中间剪开的截面显微成像见图10。由图10可以清楚地看出钢丝帘布内部钢丝帘线排列不完全整齐一致,因此会出现检测结果波动情况。



图10 覆胶钢丝帘布截面显微成像

对覆胶钢丝帘布B面进行同样试验,厚度检测最大极差为0.020 mm,最大标准偏差为0.006 8 mm,B面检测结果同样满足检测要求。重复性试验中覆胶钢丝帘布总厚度在同一检测部位的两次检测结果是:部位 I 和 II 的平均厚度误差分别为0.001和

0.004 mm,满足允许误差0.05 mm的要求。

3 结语

对覆胶钢丝帘布选定检测部位的厚度进行检测,试验结果表明,太赫兹技术能够准确地检测覆胶钢丝帘布的厚度和覆胶厚度;重复性试验的对比分析结果验证了太赫兹技术检测覆胶钢丝帘布厚度的稳定性。太赫兹检测技术可作为一种新的检测覆胶钢丝帘布厚度的高效、稳定的方法。

参考文献:

- [1] 李利,刘潇冬,王瑞. 试样因素对橡胶-钢丝帘线粘合性能测试的影响[J]. 橡胶工业,2018,65(2):227-230.
- [2] Vázquez-Cabo J, Chamorro-Posada P, Fraile-Peláez F J, et al. Windowing of THz Time-domain Spectroscopy Signals: A Study Based on Lactose[J]. Optics Communications,2016,366:386-396.
- [3] Stantchev R I, Sun B, Hornett S M, et al. Noninvasive, Near-field Terahertz Imaging of Hidden Objects Using a Single-pixel Detector[J]. Science Advances,2016,2(6):e1600190.
- [4] Hafez H A,Chai X,Ibrahim A,et al. Intense Terahertz Radiation and Their Applications[J]. Journal of Optics,2016,18(9):093004.
- [5] Lee D K, Kim G, Kim C, et al. Ultrasensitive Detection of Residual Pesticides Using THz Near-field Enhancement[J]. IEEE Transactions on Terahertz Science & Technology,2016,6(3):389-395.
- [6] Wang Q C, Wang J C, Xiao W, et al. Feasibility of Applying Terahertz Wave to Detect Target Covered with Photonic Crystal Coating[J]. Chinese Journal of Luminescence,2017,38(2):248-253.
- [7] Nguyen D T, Weber K, Volker W, et al. Non-destructive Measurement of Thickness and Refractive Index of Multilayer Coating on Metal Substrate[A]. International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves. Denmark:2016:1-2.
- [8] Tasseva J, Taschin A, Bartolini P, et al. Thin Layered Drawing Media Probed by THz Time-domain Spectroscopy[J]. Analyst,2016,142(1):42-47.
- [9] Tu C M, Luo C W, Wu K H, et al. THz Emission from Organic Cocrystalline Salt: 2, 6-Diaminopyridinium-4-Nitrophenolate-4-Nitrophenol[J]. Optics Express,2016,24(5):5039-5044.

收稿日期:2019-03-02

Thickness Detection of Coated Steel Cord for Tire Based on Terahertz Technology

HANG Bailin^{1,2}, AN Changxi^{1,2}, WANG Hongwei¹, LIU Zhan¹

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. Qingdao Wanlong Intelligent Control Technology Co., Ltd, Qingdao 266042, China)

Abstract: A detection method of the thickness of coated steel cord for tire based on terahertz time

domain technology was established. The reflective intensity from different layers of the coated steel cord was obtained by static test. The starting time of fluctuation of reflective terahertz was analyzed and the thickness of the steel cord and coating thickness were obtained. The test results showed that the thickness of the coated steel cord could be detected by the terahertz technology, and the accuracy and stability met the measurement requirements.

Key words: terahertz technology; coated steel cord; thickness; detection

载重轮胎“双反”令或致美供应短缺 2018年2月15日,美国商务部发布对源于中国的载重轮胎的反倾销和反补贴税(“双反”)令。浦林成山(山东)轮胎有限公司(以下简称浦林成山)、双钱轮胎集团有限公司(以下简称双钱轮胎)、贵州轮胎股份有限公司(以下简称贵州轮胎)等百余家中国载重轮胎生产及出口企业的倾销幅度为9%~22.57%。其中对贵州轮胎的补贴率为63.34%,双钱轮胎的补贴率为20.98%,其他生产者的补贴率为42.16%。美国商务部同时发布了对中国全国税率企业修改反倾销税保证金的备忘录,根据计算,最终美国对浦林成山、双钱轮胎和贵州轮胎的合并保证金税率分别为42.16%,23.81%和66.17%,其他企业单独税率为42.16%。

数据显示,2018年我国共向美国出口了921.92万条中型载重轮胎,占美国该产品全部进口量的一半以上,相比2017年的648.58万条增长了42.1%,每条交易均价为120.41美元。

业内人士表示,买卖建立在中国市场需求的基础上,我国轮胎企业多年来已在美国市场建立了深而广的销售渠道,如果将中国出口轮胎都拒之门外,美国下游市场必然出现供应短缺。

1 美国载重轮胎供求分析

美国轮胎制造商协会(USTMA)2019年3月发布的行业报告中称,预计2019年全美中型载重轮胎的出货量将降低6.8%(150万条),USTMA将这一现象直接归因于“双反”税的开征。此外,预计2019年的卡车运输量与2018年相比保持稳定,在一定程度上佐证了此次征税后轮胎下游需求不会受到影响,仍保持近7%的增长率。

行业人士对载重轮胎供应大面积短缺提出了质疑,认为我国轮胎企业的美国经销商手中仍有大量存货,在征税后不进口或少量进口轮胎的情况

下,仍然能保证在零售替换市场供应轮胎。美国一经销商表示,2018年从中国进口的上述轮胎有惊人的增长,这部分增长的量并没有被完全消耗,所以他们有足够实力在一段时间内稳定销售。

2 美国轮胎市场发生变化

在此“双反”案件落地之后反应最大的应该是普利司通,该公司直接宣布在美国销售的所有“代顿”品牌载重轮胎价格提高20%,从2019年3月5日起正式生效。东洋轮胎从2019年始也已经两次提高价格。但两家企业的情况不尽相同,普利司通已在美国当地建有载重子午线轮胎生产工厂多年,而东洋公司的载重子午线轮胎出口工厂则在中国,可以说普利司通是本次贸易调查的受益者而东洋轮胎不是。

分析人士称,此次将中国的载重子午线轮胎“拒之门外”将直接利好在当地建厂的轮胎企业,首先其产品的销售情况将很可能变好,其次这些企业的利润空间也会因竞争变少而增大,更容易做出调整价格的决定。

3 中国企业应对策略

据美国代理双钱轮胎的CMA公司称,双钱轮胎在此次贸易调查中被征收的税是最低的,他们的出售价格也只上调了5%,其中最主要的原因是从泰国新工厂进口的轮胎所占分量越来越大。这也是我国轮胎企业应对贸易调查比较有效的方法,通过将出口美国的订单转移到海外生产工厂,可以有效地规避高额的“双反”税,这也是企业全球化布局的一个明显优势。

此外,国内轮胎企业还可以将眼光转移到国内市场,加大产品的科研投入,生产出高质量、高附加值且具竞争力的产品。

(摘自《信息早报(化工专刊)》,2019-05-14)