

在线双面电子辐照预硫化技术在轮胎生产中的应用

王玉海¹, 刘震¹, 张琳¹, 王福业²

(1. 怡维怡橡胶研究院有限公司, 山东 青岛 266045; 2. 软控股份有限公司, 山东 青岛 266042)

摘要:介绍纤维帘布压延在线双面辐照项目的开发及应用。通过对压延机进行改造, 利用电子束在被辐照物体不同深度上剂量梯度分布的特点, 采用两台电子加速器进行合理配置连接, 实现了双面在线电子辐照的生产, 生产效率大幅提高, 生产中产生的废料显著下降, 人工数量减少, 产品质量提升。

关键词:电子辐照; 预硫化; 轮胎; 在线双面辐照; 物理性能

中图分类号: TQ336.1; TQ330.4⁺7; TQ330.6⁺7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8171(2016)09-0547-06

电子束辐照预硫化技术正逐渐受到国内轮胎行业及橡胶工业的认可和重视。电子预辐照技术可明显提高轮胎性能, 降低材料成本, 是未来高性能子午线轮胎的发展方向, 市场潜力巨大。国内A轮胎公司自2009年开始研究电子辐照在轮胎生产中的应用, 通过离线设备仅在乘用车子午线轮胎胎体中应用了两年, 不仅提高了成品轮胎的合格率, 而且通过减小胶料半成品厚度为公司节约了大量资金, 取得了较好的经济效益和社会效益。离线辐照生产有一定的局限性, 限制了该项技术的进一步推广与应用, 主要体现在以下方面。

(1) 生产效率低。离线辐照生产速度与帘布压延生产速度不匹配。A轮胎公司的离线辐照加速器的最大能量为0.5 MeV, 受电子加速器电流限制, 离线辐照生产速度最高只能达到30 m·min⁻¹, 而压延的正常生产速度一般为40 m·min⁻¹, 因此只能对部分生产规格进行辐照生产, 不能实现效益最大化。

(2) 生产废料多。由于离线辐照需要将压延好的帘布重新导开及卷取, 在这些过程中, 帘布的张力会发生不同程度的变化, 导致后续的运输、裁断过程中由于帘布张力不均, 与正常生产的帘布相比, 平均每天多产生帘布废料约300 kg, 成本浪费严重。

(3) 操作人员多。离线辐照生产线定员4人, 如果4班生产, 定员共16人, 人工成本较高。

(4) 辐照不均匀。辐照过程中, 受辐照自身特性影响, 电子剂量分布在被辐照物体上的深度方向是不一样的, 因此对于单面辐照, 在被辐照材料不同厚度梯度上, 辐照能量吸收并不均匀, 影响了辐照效果。

(5) 生产时需区分辐照面。由于加速器功率限制, 0.5 MeV的加速器在覆胶帘布上的穿透深度为0.6~0.7 mm, 而一般覆胶纤维帘布的厚度在1 mm以上, 因此电子很难穿透胶片, 而且电子在胶片内部存在梯度分布, 基本只有辐照面一侧有辐照效果, 因此在轮胎成型生产时, 辐照面必须向下与内衬层部件贴合才能避免胎里露线, 增加了生产管理的难度。

由于离线辐照生产存在诸多缺陷, 本工作研究纤维帘布压延在线双面辐照技术的应用。

1 压延生产线改造方案

对原有纤维帘布压延生产线进行改造, 增加一套电子辐照系统, 并且不能影响原生产线的正常生产。首先对原有生产线设备布置和空间结构进行方案评估, 对现场进行必要的测绘, 根据现场条件进行设计。电子加速器安装在原生产线卷取工序后。在原有生产线冷却辊之后、储料装置的上方, 增加一套帘布向前输送架, 跨过储料架、双工位卷取装置和电子加速器装置。在加速器的出口安装有恒张力的驱动电动机, 再将辐照好的帘布通过向后输送架输送到储料架的入口。安装相应的定中装置, 保证帘布进入辐照室处于中心位

作者简介:王玉海(1975—), 男, 宁夏银川人, 怡维怡橡胶研究院有限公司工程师, 学士, 主要从事配方设计及材料开发工作。

置。对原有的控制系统与现有的控制系统进行通讯,实时传送生产线速度,以保证电子加速器对材料辐照的均匀性。双面电子辐照技术充分利用了电子束在被辐照物体不同深度上剂量梯度分布的特点,采用两台电子加速器进行合理配置连接,正反两面吸收剂量叠加,保证被辐照胶片吸收剂量均匀,双面辐照设计原理如图1所示。

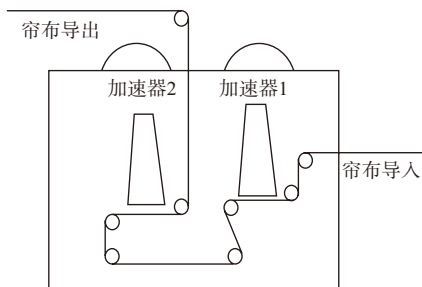


图1 双面辐照设计原理

1.1 控制系统

控制系统包括生产线自身选用的控制系统和电子加速器控制系统。两个系统必须进行通讯联络,保持速度同步,且启停、报警和准备信号共享。由于加速器自身特点,电子束流的增加和递减需要逐步变化,在设定好辐照剂量后,关联的速度变化通过运算也是逐步变化的,从而保证在变速时辐照剂量一致。

1.2 输送系统

输送系统主要由前输送架、后输送架、导向辊、舒展辊、纠偏装置、牵引制动辊组和控制联动装置组成。

(1)前输送架用于从电子加速器到生产线冷却辊之间的输送,主要由架体、导向辊、舒展辊和牵引制动辊组组成。

(2)后输送架用于从生产线冷却辊到电子加速器之间的输送,主要由架体、导向辊、舒展辊和纠偏装置组成。

(3)纠偏装置安装于加速器进口。纤维帘布经过双辊框架,框架中心设有一个轴,由电动机拉动旋转。

(4)牵引制动辊组和控制联动装置。在加速器帘布辐照后输出端设有组合辊,采用变频电动机驱动,驱动扭矩恒定,以平衡帘布输送过程中的摩擦力。

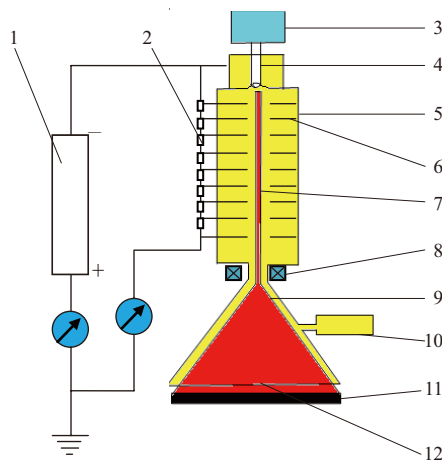
1.3 排风系统

排风系统主要由风机、管道及烟囱组成。由于设备工作时会产生大量臭氧,必须及时排出。

2 辐照设备概况及技术参数

轮胎电子辐照设备为软控股份有限公司和无锡爱邦辐射技术有限公司联合开发研制,主要包括电子加速器、自屏蔽体、冷却风机、臭氧排放风机、电气控制系统及其他生产线辅助配套线。

电子加速器主要由电子枪、电子加速管、扫描线圈、真空泵、直流高压电源、自屏蔽防护室和金属膜窗口组成,结构^[1]如图2所示。



1—直流高压电源;2—柱形电阻;3—电子枪电源;4—灯丝总成;
5—加速管;6—加速极;7—电子束流;8—扫描线圈;9—扫描
真空室;10—真空泵;11—辐照材料;12—金属膜窗口。

图2 电子加速器结构示意图

电子枪使用灯丝单独电源供电,并与高压电源高压端连接,灯丝上的电压最低,灯丝由发电机单独供电,灯丝加热后产生电子。

电子加速管为硬玻璃材料,并嵌镶多级环形电极,在环形电极外侧,接有柱形电阻。每个相邻的加速极之间形成一个电子透镜,将电子聚焦并加速。

扫描线圈在加速管下方,通过线圈的电压为交变的锯齿波,形成交变磁场,拉动电子束往复摆动,完成扫描过程。

真空泵分为3级。根据真空室的状态启用不同级。

电子流从高压电源负极流出到电子枪,由电

子枪发射至被辐照的材料,形成回路。

高能电子在轰击到任何固体时都会产生X射线,X射线具有较强的穿透能力,为了防止射线外泄,加速器外部设有一个屏蔽室。屏蔽室采用钢板与铅板复合材料,可有效阻止X射线外漏。

金属膜窗口多为钛膜或铝膜高速运动的电子穿过金属膜,从真空状态进入大气空间,电子最终打在胶片上。

单加速器技术参数:最大能量 0.5 MeV;工作束流 80 mA;扫描宽度 160 cm;束流沿长度方向均匀度 >95%;最大束流功率 40 kW;工作方式 连续;加速器屏蔽形式 自屏蔽;结构形式 一体双台;最大线速度 $40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$;生产线工作速度 $3 \sim 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (根据帘布规格确定)。

3 辐照试验

3.1 辐照交联机理

电子束辐照硫化技术是通过电子加速器发射的高能电子束在橡胶基体中激活橡胶分子,产生橡胶大分子自由基,使橡胶大分子交联形成三维网状结构^[2]。

经过辐照后,橡胶的大分子链在外部电子的轰击下被打断,被打断的每一个断点成为自由基,自由基不稳定,相互之间要重新组合,重新组合后由原来的链状分子结构变为三维网状的分子链结构,这个过程称为辐照交联。经过辐照后形成网状分子链结构,胶片粘度和拉伸强度均随辐射剂量的加大而提高。当电子束辐照聚合物时,交联和降解反应同时发生,最终的结果取决于这两者中的强者,因此,聚合物可分为交联型聚合物和降解型聚合物。大部分聚合物在受到电子束辐照后是可以交联的,因此电子束辐照技术前景广阔^[3]。另外,对电子能量和强度的控制也非常重要,电子强度过大,在交联的同时还会破坏大的分子链,因此辐照过程中应根据辐照材料的特性,选择合适的电子密度和强度。通常,辐照加工使胶料表面的粘性降低。将辐照加工后的胎体与未经辐照加工的部件通过成型工艺制成胎坯,由于胎体帘布发生了预交联,因此在成型时需要较大的力使已膨胀变形的部件进一步扩张,胶料膨胀和帘线形变

都是均匀的^[4],能够防止胶片部件变形和流动。

3.2 电子束深度剂量分布曲线

电子束深度剂量分布曲线如图3所示。

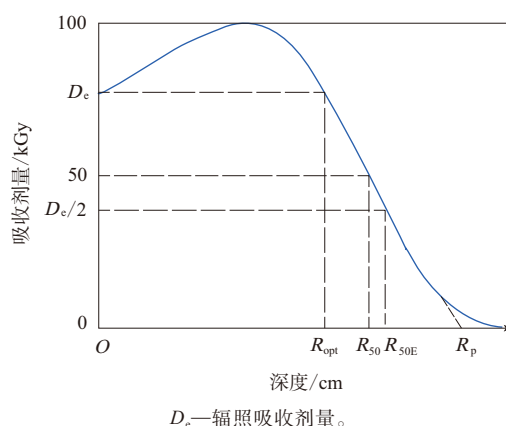


图3 电子束深度剂量分布曲线

电子射程(R_p)是指电子从射入物质开始直至被物质吸收,沿电子入射方向能够到达的实际距离。

半入射值深度(R_{50E})是电子束深度剂量分布曲线中吸收剂量减少到表面入射剂量值的一半时对应的材料厚度。

半值深度(R₅₀)是电子束深度剂量分布曲线中吸收剂量减少到最大值的一半时对应的材料厚度。

最佳深度(R_{opt})是出射剂量与入射剂量相等时所对应的材料厚度。

电子穿透深度(电子射程)几乎与入射电子的能量成正比。表示电子穿透能力大小的射程是电子能量的函数,已有许多图表可供参考,也可用以下两个简单的经验公式作近似计算。

$$R = 0.542E - 0.133 \quad (0.8 \text{ MeV} < E < 5 \text{ MeV})$$

$$R = 0.407E^{1.38} \quad (0.15 \text{ MeV} < E < 0.8 \text{ MeV})$$

式中,R为电子射程,用质量厚度表示, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$;E为辐射加速器的能量。这种表示方法可以不受具体样品的限制。

电子在样品中的穿透深度(L)为

$$L = R/\rho$$

式中, ρ 为样品的密度, $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

电子束辐照是一个基本的能量转移过程,其穿透力^[3]由辐照的波长和加速电压决定。电子束加速器所产生的电子束在被照射物质中的穿透能力

很低,为了增加辐照厚度,常采用双面照射的方法,对于同样的均匀程度,双面照射的厚度为单侧的2.5倍^[5]。从双面辐照深度剂量叠加曲线可以看出,与单面辐照相比,双面辐照剂量分布更均匀。

4 试验

4.1 辐照半成品性能测试

4.1.1 帘布单/双面辐照前后拉伸变形对比

覆胶纤维帘布单/双面辐照前后拉伸效果对比如图4所示。

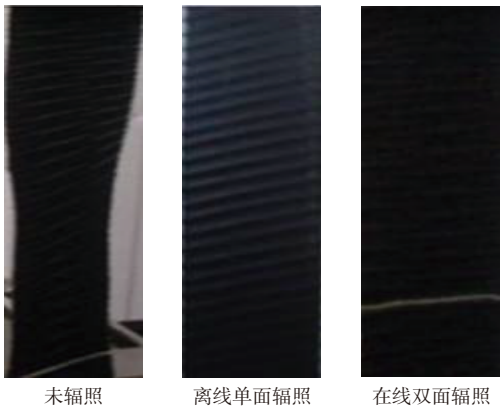


图4 覆胶纤维帘布单/双面辐照前后拉伸效果对比

从图4可以看出,未辐照帘布在拉伸过程中变形较大,而单面辐照后的帘布基本无变形,但是帘线与压延方向不垂直,双面辐照后的帘布效果更好,保证了轮胎生产时胎体帘布层在成型膨胀过程中的形状及尺寸稳定性。

4.1.2 帘布单/双面辐照前后拉伸性能对比

未辐照、离线单面辐照和在线双面辐照的帘布拉伸强度分别为0.40,0.75和0.78 MPa,拉断伸长率分别为23%,357%和421%。可见,辐照后帘布的拉伸强度及拉断伸长率均有明显提升,而双面辐照的帘布拉伸性能更好。

4.1.3 单/双面辐照及未辐照帘布老化前后H抽出性能对比

单/双面辐照及未辐照帘布老化前后H抽出性能对比如表1所示。

从表1可以看出,辐照后帘布的H抽出性能有明显提升,双面辐照的提升幅度优势更为明显。

4.2 离线/在线辐照后帘布外观

离线单面辐照和在线双面辐照后的帘布如图

表1 单/双面辐照及未辐照帘布老化前后

项 目	H抽出力对比		N
	老化前	老化后	
未辐照	148	148	
离线单面辐照	152	154	
在线双面辐照	164	170	

5和6所示。

由图5和6可以看出,离线辐照的帘布由于导开卷取过程中造成的张力不均,致使帘布出现较严重的打褶现象,造成成本浪费,而在线双面辐照时帘布受力均匀,不存在打褶现象。



图5 离线单面辐照

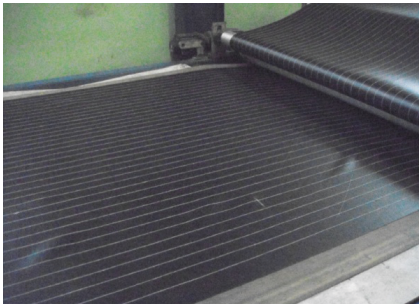


图6 在线双面辐照

4.3 辐照变色标签

国内某轮胎公司使用辐照变色标签来监控辐照效果。辐照变色标签是利用辐照效应测量辐照剂量的一种有机高分子薄膜。产品经过辐照加工后,标签的颜色会因辐照剂量不同而改变,根据颜色识别和监控辐照产品的剂量范围,标签变色范围为黄色→橙黄→红色。

4.4 在线双面辐照产品不良趋势

在线双面辐照实施过程中产品不良趋势如图7所示。

由图7可以看出,随着在线双面辐照的逐步实施,15天的辐照过程中产生的帘布废料以及成品轮胎胎里露线不良现象均明显下降。

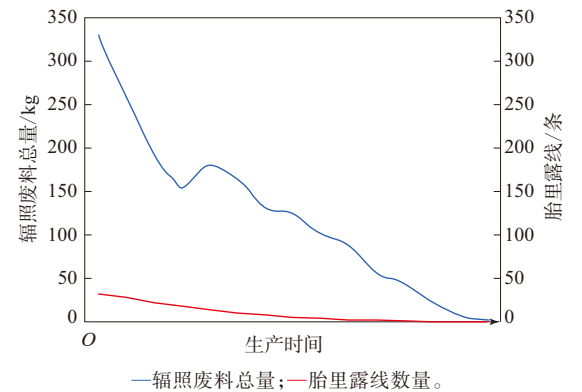


图7 在线双面辐照实施过程中(15 d)产品不良趋势

4.5 电子辐照对轮胎成品性能的影响

采用电子辐照技术的成品轮胎胎里露线不良率明显降低,由未辐照的0.04%下降到辐照后的0.02%,产品综合合格率由98.25%提高至99.58%。成品机床试验结果远高于设计标准,出租车路试达到12万km未出现异常。通过对轮胎的胎体帘布实施电子辐照预硫化技术,成品轮胎的各项性能表现优良。185/60R14和265/70R16规格轮胎机床测试结果分别见表2和3。

表2 185/60R14轮胎机床测试结果			
项 目	未辐照	离线单面辐照	在线双面辐照
耐久性能			
设计标准/h	48	48	48
累计行驶时间/h	60	60	60
破坏情况	崩花	未破坏	未破坏
高速性能			
设计标准/min	70	70	70
累计行驶时间/min	100	100	100
破坏情况	未破坏	未破坏	未破坏

表3 265/70R16轮胎机床测试结果			
项 目	未辐照	离线单面辐照	在线双面辐照
耐久性能			
设计标准/h	48	48	48
累计行驶时间/h	60	70	80
破坏情况	未破坏	肩空	未破坏
高速性能			
设计标准/min	70	70	70
累计行驶时间/min	90	100	100
破坏情况	胎圈空	胎侧爆	未破坏

从表2和3可以看出,经离线单面辐照或在线双面辐照后的轮胎关键性能指标均高于未经辐照的轮胎,且远高于设计标准,经过在线双面辐照的

轮胎性能更优。

5 结语

通过试验数据可以看出,实施在线双面辐照预硫化技术后,生产效率显著提高,半成品及成品性能提升、不良率显著下降,人工成本降低,且轮胎成型生产时无需区分辐照面,与离线单面辐照相比优势较明显。

通过对胎体帘布进行在线双面辐照,可减小内衬层厚度,每条子午线轮胎平均节约材料成本约3元,按年产轮胎1 000万条计算,全部使用电子辐照生产后,每年将节约材料成本3 000万元。经电子辐照预硫化生产的胶片,其拉伸强度、拉断伸长率和尺寸稳定性均有很大提高,可提高轮胎产品的质量和稳定性,加强轮胎的安全性能,从而提高产品的市场销售竞争力和企业的经济效益。

在线双面电子辐照预硫化技术可进一步提高胶片的尺寸稳定性,降低拉伸对胶片造成的影响,在一定程度上减小厚度和原材料用量,降低轮胎生产成本,并且能够有效减轻轮胎质量,达到降低滚动阻力、节约油耗和减少污染气体排放、改善环境的目的,符合低碳环保经济的理念,是目前提高轮胎生产质量的必然发展方向和今后轮胎制造工艺的必然趋势^[6]。在线双面电子辐照预硫化技术的应用,可大大提高轮胎产品的技术含量和市场竞争能力,并可打破国外企业对此技术的垄断,提高国内轮胎加工企业的技术水平。

参考文献:

[1] 王福业,李建强,王玉海,等. 电子加速器在轮胎制造中的应用[J]. 橡塑技术与装备,2011,37(2):46-48.

[2] 鲍矛,矫阳,康兴川,等. γ射线辐射预硫化天然橡胶的研究[J]. 同位素,2008,21(2):114-116.

[3] 张欣钊. 电子束辐照技术应用于轮胎生产[J]. 橡塑资源利用,2006(1):30-37.

[4] 幕内惠三. 辐射在轮胎工业中的应用[J]. 轮胎工业,2007,27(10):625-627.

[5] 宋廷善. 电子束橡胶辐射硫化加工技术[J]. 橡塑资源利用,2005(3):10-13.

[6] 王玉海,周天明. 电子辐照预硫化技术在轿车子午线轮胎中的应用[J]. 轮胎工业,2012,32(12):750-754.

Application of Real Time Two-Side Electron Irradiation Pre-Vulcanation in Tire Production

WANG Yuhai¹, LIU Zhen¹, ZHANG Lin¹, WANG Fuyue²

(1. Eve Rubber Institute Ltd., Qingdao 266045, China; 2. MESNAC Co., Ltd., Qingdao 266042, China)

Abstract: Application of real time two-side electron irradiation in fiber fabric calendering was described. Due to the depth distribution of electron beam irradiation, the real time two-side electron irradiation production was achieved by using two electron accelerators. With the implementation of real time electron irradiation, the production efficiency was substantially improved, the waste and the labor were reduced, and the product quality was improved.

Key words: electron irradiation; pre-vulcanization; tire; real time two-side electron irradiation; physical properties

Kenda的Klever产品线新增 轻型载重轮胎

中图分类号: U463.341⁺.6 文献标志码: D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com) 2016年5月31日报道:

Kenda美国公司的Klever产品线新增物有所值的适用于公路行驶的轻型载重轮胎——Kenda Klever H/T2 KR600轮胎, 有14个规格将于2016年第3季度上市。

Klever H/T2轮胎(见图1)的LTR规格实行80 500 km (50 000英里) 行驶里程质保、公制规格实行96 600 km (60 000英里) 行驶里程质保。



图1 Klever H/T2轮胎

Kenda声称, KR600轮胎的特点是具有计算机优化的接地印痕, 可以在多种负荷条件下提供优异的耐磨性能和操纵性能; 强壮的胎肩花纹块能

增强操纵性能和转向稳定性; 雪地刀槽花纹以及横向花纹沟槽密度增大, 能够改善湿滑和雪地条件下的牵引性能和行驶稳定性; 宽周向花纹沟提高了水滑性能和湿牵引性能。

Klever H/T2轮胎是在新建成的Kenda美国技术中心开发的。

公路用Klever H/T2轮胎是专为轻型卡车和SUV设计的, 作为新近推出的Klever S/T KR52轮胎的补充, 而Klever S/T KR52轮胎是为更高级别的CUV和SUV设计的。

业务发展部经理Brandon Stotsenburg说: “与顶级Tier 1和Tier 2轮胎相比, Klever H/T2轮胎是Kenda给客户提供的价格优惠的优质轮胎。经销商可以充满自信地用Klever H/T2轮胎替换原配胎。Kenda希望在未来18个月内扩展产品线, 增加装配于406.4~508 mm (16~20英寸) 轮辋的LT和公制规格轮胎。目前可以下单的轮胎规格为: LT215/85R16, LT225/75R16, LT235/80R17, LT235/85R16, LT245/70R17, LT245/75R16, LT245/75R17, LT265/70R17, LT265/75R16, LT275/65R18, LT275/65R20, LT275/70R18, P265/70R16和P265/70R17。”

美国建大橡胶工业有限公司以Kenda美国的名义经营业务, 总部设在俄亥俄州雷诺兹。

(赵敏摘译 吴秀兰校)