

# TP-100电子辐照装置对轮胎生产工艺的影响

程安仁, 林浩, 矫阳, 陆永俊, 张艳霞, 郭月莹

(北京市射线应用研究中心 辐射新材料北京市重点实验室, 北京 100015)

**摘要:**将TP-100电子辐照装置应用于轮胎生产中,用高能电子射线对胎体或气密层进行辐照处理,研究电子辐照对轮胎生产工艺的影响。结果表明:经过高能电子辐照后,胎体混炼胶的门尼粘度、生胶强度及300%定伸应力增大,抗变形能力提高;辐照对混炼胶的焦烧时间和正硫化时间略有影响,但符合轮胎生产工艺要求;由于抗变形能力提高,可减小内衬层厚度,为缩短轮胎硫化时间提供了可能性;辐照装置的额定束流强度影响压延的最大速度,对压延速度变化率的响应效率影响压延速度变化率;辐照处理会使覆胶帘布表面温度上升5~8℃,但满足轮胎生产工艺要求;辐照处理后覆胶帘布的粘性提高,有利于帘布在成型过程中的粘合。

**关键词:**辐照;电子加速器;预硫化;轮胎;工艺

**中图分类号:**TQ336.1<sup>+</sup>1;TQ330.6<sup>+</sup>6

**文献标志码:**B

**文章编号:**1006-8171(2019)11-0695-04

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2019.11.0695



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

自1977年日本安装第1台用于轮胎橡胶片材硫化的加速器以来,辐射技术开始应用于混炼胶的改性工作,这种能够提高橡胶热硫化前性能的应用技术在国外迅速实现了工业化应用,而我国受国外技术的封锁,加速器技术较为落后,直到2000年才由北京市射线应用研究中心正式推广该技术<sup>[1-2]</sup>。

目前由北射沃华核技术(北京)有限公司(简称北射沃华)开发的子午线轮胎电子辐照预硫化装置(简称TP-100辐照装置)已经在半钢子午线轮胎生产中投入了产业化应用,本工作评价该装置对轮胎生产工艺的影响。

## 1 TP-100辐照装置简介

### 1.1 组成及参数

TP-100辐照装置可提供全钢子午线轮胎气密层辐照和半钢子午线轮胎胎体层辐照的生产模块。辐照生产以电子辐照技术为核心,将辐射技术与轮胎生产工艺无缝对接,通过对子午线轮胎生产过程中的半成品进行辐射预硫化,提高材料的格林强度,保持半成品部件结构和尺寸精确。

**作者简介:**程安仁(1972—),男,湖北麻城人,北京市射线应用研究中心工程师,学士,要从事橡胶复合材料/橡胶辐射改性的应用与研究。

**E-mail:**car107@163.com

TP-100辐照装置由自屏蔽电子加速器、束下传输装置、加速器附属设备和辐射工序总控装置组成。其中自屏蔽电子加速器采用俄罗斯科学院新西伯利亚核物理研究院(BINP)的ELV型电子加速器,具有结构紧凑,体积小,电能-束功率转换效率高、束功率大,运行稳定可靠,启动出束迅速,性价比高等优点;束下传输装置、加速器附属设备和辐射工序总控装置均由北射沃华自行设计,具有完全的自主知识产权,保证了加速器稳定运行及与生产线完美对接,在保证生产线运行速度的前提下,获得最佳射线利用率,减少设备前期投资。

TP-100辐照装置主要参数:最大能量 0.5 MeV,能量可调范围 0.3~0.5 MeV,束流强度 100 mA(0~100 mA连续可调),能量稳定度  $\geq 95\%$ ,束流稳定度  $\geq 98\%$ ,扫描宽度 1 600 mm,束流沿长度方向均匀度  $\geq 90\%$ ,最大束流 0.5 MeV时功率 50 kW,工作方式 连续。

### 1.2 安装位置

TP-100辐照装置在半钢子午线轮胎生产线中的安装位置如图1所示。

## 2 TP-100辐照装置对轮胎生产工艺性能的影响

TP-100辐照装置在胎体胶料生产中应用后对半钢子午线轮胎生产工艺的影响主要体现在对混炼胶的生胶强度、硫化性能及轮胎的硫化时间、压

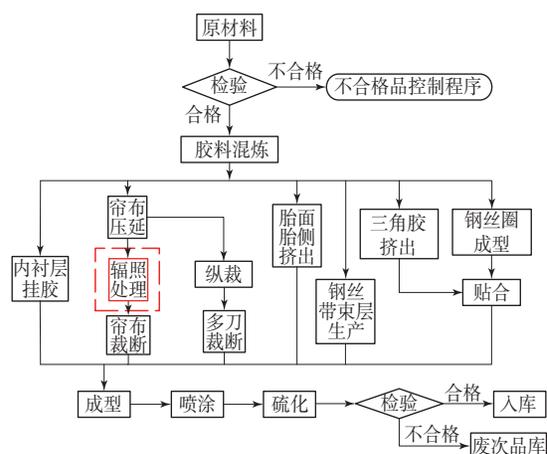
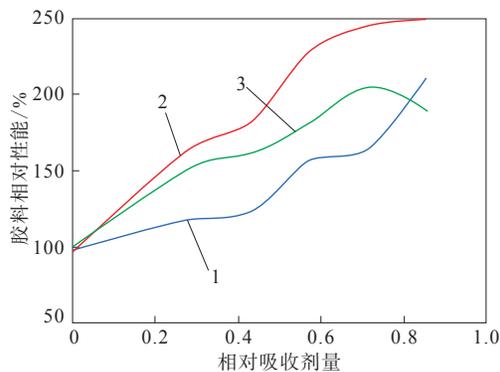


图1 TP-100辐照装置在生产中的安装位置  
延工艺、半成品粘合性能和辐照安全性等方面。

### 2.1 胎体混炼胶生胶强度

胎体混炼胶的生胶强度表征了混炼胶的抗变形性能,其分析指标包括混炼胶的门尼粘度、生胶强度(格林强度)和300%定伸应力。

辐射预硫化对胶料性能的影响如图2所示,相对吸收剂量指以辐照的某个最大吸收剂量值为1,实际吸收剂量值与该值的比值。相对性能指以未辐照试样的测试值为100,辐照后该性能的测试值相对未辐照时的百分数。



1—相对门尼粘度;2—相对生胶强度;3—相对生胶300%定伸应力。

图2 相对吸收剂量对胎体混炼胶性能的影响

由图2可以看出:随着相对吸收剂量的增大,混炼胶相对门尼粘度和相对生胶强度均增大,在相对吸收剂量为0.9时,相对门尼粘度提高到200%以上,相对生胶强度提高到250%;随着相对吸收剂量的增大,混炼胶相对生胶300%定伸应力的变化趋势与相对门尼粘度和相对生胶强度相似。相对生胶300%定伸应力越大,说明混炼胶抗变形能力越强。相对门尼粘度、相对生胶强度和相对生胶

300%定伸应力提高的原因是高能电子射线辐射作用导致混炼胶产生了交联作用。

通过分析电子辐照对混炼胶生胶强度特性的影响,大致可以确定辐射预硫化技术在胎体胶料生产过程中有以下应用方向。

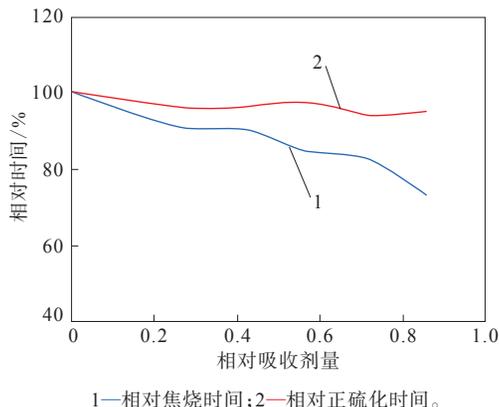
(1)通过辐射预硫化处理,提高混炼胶的相对门尼粘度、相对生胶强度和相对生胶300%定伸应力,使橡胶半成品的尺寸稳定性和粘度得到提高,间接提高产品质量;与此同时,减小半成品厚度,降低原材料消耗。国外轮胎行业辐射预硫化技术产业化应用就是这个方向的典型例子。

(2)对于挺性要求较高的半成品,对混炼胶相对门尼粘度、相对生胶强度和相对生胶300%定伸应力的要求较高(以下简称“高门尼胶料”)。高门尼胶料混炼或挤出时能耗较大、生产速度较低,为了解决这个问题,建议通过调整配方,调低混炼胶相对门尼粘度,使其更容易混炼或挤出,以降低生产过程中的能耗和设备磨损,提高生产速度。在半成品挤出后,可通过辐射预硫化技术提高胶料的相对门尼粘度、相对生胶强度和相对生胶300%定伸应力,达到半成品的技术要求。该方面的产业化应用目前还未见报道。

### 2.2 混炼胶硫化性能及轮胎硫化时间

混炼胶在127℃的焦烧时间是表征生产过程中工艺安全性的参数,也是混炼胶的硫化性能参数,关系到生产工艺的安全性和硫化反应的同步性。辐射预硫化对胎体胶料相对焦烧时间和混炼胶正硫化时间的影响如图3所示。

在正常生产的工厂内,已辐照处理的胎体胶



1—相对焦烧时间;2—相对正硫化时间。

图3 相对吸收剂量对混炼胶127℃焦烧时间和150℃正硫化时间的影响

料应为经过挤出或压延加工的半成品,其工艺安全性不存在问题。

正硫化时间作为混炼胶硫化特性参数表征了热硫化过程中的硫化同步性能,关系到产品不同橡胶层之间能否同步硫化的问题。从图3可以看出,辐射预硫化会导致混炼胶相对正硫化时间略有缩短,但幅度不大,约在5%以内,不会影响热硫化过程中的同步性能。

由于相对正硫化时间缩短了3%~5%,看似为产品热硫化时间缩短提供了可能,但实际上轮胎的热硫化时间主要是由轮胎结构中的三角胶和带束层胶热历程决定,因此胎体胶料的正硫化时间与轮胎热硫化时间没有必然联系。由于TP-100辐照装置辐照后可提高胎体胶料或内衬过渡层的强度,减小了其在成型时的变形,因此可以适当减小厚度,这为缩短三角胶和带束层胶的热历程,即缩短轮胎热硫化时间提供了支撑。减小半成品厚度施工调整方案如图4所示。

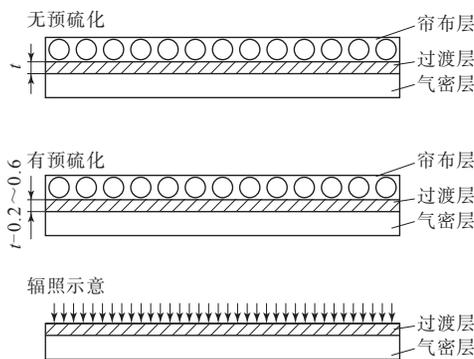


图4 半成品厚度减小施工调整方案示意

### 2.3 轮胎压延工艺

辐照装置安装在轮胎压延生产线上,主要影响压延过程中的压延速度和覆胶帘布卷取温度。

#### 2.3.1 压延速度

轮胎部件辐射预硫化工序是在原有轮胎制备过程中通过工艺改进而增添的工序。辐射工序的加入可实现在线辐射处理,满足轮胎生产整套系统联机协同控制,达到连续自动化生产要求,但需开展该工序与原工序工艺和运行模式的衔接匹配研究,这也是实现产业化的关键。

由于覆胶帘布压延过程不是均速,压延速度会根据帘布的贮存情况和供胶情况进行调整,因此保证在不同速度下覆胶帘布具有相同的辐照吸

收剂量是问题的关键。

覆胶帘布辐照吸收剂量( $D$ )的计算公式为

$$D = \frac{kI}{wv} \quad (1)$$

式中, $k$ 为设备标定系数, $I$ 为束流强度, $w$ 为扫描宽度, $v$ 为运行速度。

由式(1)可知,在 $k$ 和 $w$ 为定值情况下,若要 $D$ 为定值,则 $I$ 应随着 $v$ 同步变化。

压延速度变化时理论束流强度与实际束流强度的对比曲线如图5所示。理论束流强度曲线可作为标准线。

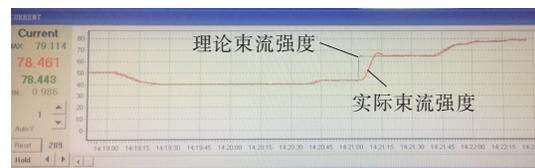


图5 压延时理论束流强度与实际束流强度的对比

从图5可知,辐照装置的束流较好地跟踪轮胎生产线速度变化,说明该装置与生产线的衔接匹配性较高。只是在压延速度急剧变化时,设备由于需要信号反馈和控制系统响应时间,具有一定的滞后性。也就是说,设备对压延速度的变化率有一定的要求。

通过反复设备调试和现场试验,最终确定了 $I$ 与 $v$ 相匹配的最高速度变化率,结果如图6所示。

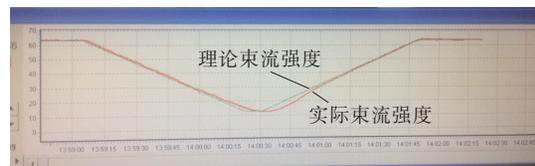


图6 最高压延速度变化率时束流强度对比

从图6可知, $I$ 较好地跟踪了轮胎生产线 $v$ 变化,与生产线的衔接匹配性较高。经过轮胎厂的实际生产运行,得到了轮胎厂的认可。

此外,根据轮胎试验反馈, $D$ 为30 kGy较好,据此由式(1)可推算出TP-100辐照装置的最大辐照处理能力(最高压延速度)为 $50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。若需要继续提高 $v$ ,则需要提高电子加速器的 $I$ ,也就是需要选用额定束流强度更大的电子加速器。

#### 2.3.2 覆胶帘布卷取温度

对高分子材料进行辐照处理时,照射能量除转化为化学能及对流、传导或辐射等能量形式,还有一部分能量会使材料有一定温升,导致辐照后

的覆胶帘布表面温度升高。由于生产工艺对帘布层部件的温度有要求,因此,研究了辐射预硫化工艺对帘布表面温度的影响,结果如表1所示。

表1 辐照对覆胶帘布卷取温度的影响

压延速度/ (m·min <sup>-1</sup> )	辐照剂量/ kGy	束流强度/ mA	进片温度/ ℃	卷取温度/ ℃
50.0	20	63.5	27	32
50.0	30	95.5	27	35
50.0	25	79.4	25	34
41.2	30	78.6	27	33
40.0	30	78.0	28	34
40.0	30	78.0	23	29

从表1可以看出,在部件辐照剂量范围内,因辐射预硫化工艺造成帘布表面温度升高5~8℃,但表面温度不高于40℃,满足生产线工艺要求。

#### 2.4 覆胶帘布粘性

覆胶帘布粘性是表征其工艺性能的参数,也是在轮胎成型过程中重点关注的参数之一。子午线轮胎是多种材质、多层复合、多次加工成型、一次硫化定型的结构复杂产品,胶料自粘性、各部件胶料界面层间粘合性以及胶料与骨架材料的粘合性能对轮胎性能至关重要。

半钢子午线轮胎胎体帘布层由纤维帘布覆胶压延制备,它在胎坯成型时一面与内衬(气密)层部件的隔离胶(过渡层)、另一面与带束层胶紧密贴合,因此要求经辐射预硫化处理后的胎体帘布层胶应具有较高的自粘性,与其他胶部件的互粘性和与帘线的粘合强度均要求较高。

对辐射预硫化胎体帘布层胶的粘性进行测试评价。采用粘性测试仪,按照滚珠滚动距离测试覆胶帘布辐照后的粘性。距离越小,说明帘布粘性越大,取10次试验的平均值。覆胶帘布压延停放3 d后,将没有辐照和经25,30,40 kGy剂量辐照的帘布分别进行粘性测量,小球的滚动距离分别为299,269,260,260 mm。由试验结果可以看出,随着辐照吸收剂量的增大,覆胶帘布粘性提高,有利于轮胎成型过程中的粘合。

#### 2.5 辐照安全性

按照HJ 785—2016《电子直线加速器工业CT辐射安全技术规范》规定,在屏蔽体表面大于或等于30 cm处任何监测点周围,剂量当量率应不大于2.5 μSv·h<sup>-1</sup>。在设备的额定条件(500 keV和100

mA)下连续运行,测定设备5个点,选择距离屏蔽体20 cm或缝隙处(比HJ 785—2016标准更严格),实测各点的剂量当量率,结果如表2所示。

表2 辐照屏蔽体表面各点剂量当量率

序号	剂量当量率/(μSv·h <sup>-1</sup> )	位置
1	0.77	门缝处(下层)
2	0.21	下层
3	0.49	下层
4	0.10	下层
5	0.29	下层
6	0.20	上层

注:环境本底辐射剂量率为0.045 μSv·h<sup>-1</sup>。

由表2可以看出,辐照预硫化装置的安全性符合HJ 785—2016标准的要求。

### 3 结论

将TP-100辐照装置用于轮胎生产中,利用高能电子射线对胎体或气密层进行辐照处理,其对轮胎生产工艺有如下影响。

(1)通过高能电子辐照后,胎体混炼胶的门尼粘度、生胶强度和生胶300%定伸应力增大,抗变形能力提高。

(2)辐照对混炼胶的焦烧时间和正硫化时间略有影响,但符合轮胎生产工艺要求,同时为缩短轮胎的硫化时间提供了可能性。

(3)辐照装置的额定束流强度影响压延的最大速度,设备对压延速度变化率响应效率影响压延速度变化率。

(4)辐照装置对覆胶帘布进行辐照处理,会使覆胶帘布表面温度上升5~8℃,但能满足轮胎生产工艺的要求。

(5)辐照处理覆胶帘布的粘性提高,有利于覆胶帘布在成型过程中的粘合。

(6)辐照预硫化装置的剂量当量率符合标准要求,可确保辐照安全性。

#### 参考文献:

- [1] 周瑞敏,刘兆民,王锦花. 辐射技术在橡胶硫化中的应用[J]. 核技术,2000,23(6):427-430.
- [2] 赵雪娜,杨洪军,矫阳,等. γ射线辐照对氢化丁腈橡胶性能的影响[J]. 橡胶工业,2018,65(12):1398-1401.

收稿日期:2019-09-25