

橡胶履带硫化成型工艺及设备研究进展

褚凡忠^{1,2}, 张有忱^{1,2}, 杨卫民^{1,2}, 安 瑛^{1,2}, 谭 晶^{1,2*}

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 轮胎设计与制造工艺国家工程实验室, 北京 100029)

摘要:综述国内外橡胶履带硫化成型工艺及设备的研究进展。介绍二次成型硫化法、一次成型硫化法和成型硫化一体化硫化法等橡胶履带硫化工艺及设备的特点, 分析了目前橡胶履带生产过程中存在的问题及未来发展趋势。二次成型硫化法芯金定位不够精确, 硫化不均匀, 但对设备要求较低, 投入少; 一次成型硫化法芯金定位准确, 硫化均匀, 但对设备要求较高, 投入大; 成型硫化一体化硫化法相对于一次成型硫化法, 芯金定位更准确, 减少硫化成型步骤, 但对硫化成型内模要求更高。未来计算机辅助设计和制造橡胶履带将成为发展方向。

关键词:橡胶履带; 硫化成型; 二次成型硫化; 一次成型硫化; 成型硫化一体化

中图分类号: TQ336.2; TQ330.4⁺6/⁺7 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-890X(2016)02-0118-05

橡胶履带是一种橡胶与金属或纤维材料复合而成的橡胶制品^[1], 主要由芯金、强力层、缓冲层和橡胶弹性体四部分组成, 与履带轮共同作用, 为履带式行走机械传递驱动力。与金属履带和轮胎相比, 橡胶履带具有接地压力小、震动小、噪声低、行驶速度快、寿命长以及多地形通过性能好等优点, 因此广泛用于农业机械^[2-8]、工程机械^[9-10]、运输机械^[11]、雪地车^[12]以及特种机械^[13-15]等领域。近年来随着相关技术的发展, 橡胶履带的应用越来越广泛, 对橡胶履带的性能要求也不断提高, 因此对橡胶履带的硫化成型工艺及设备提出了新的要求。

橡胶履带最早由日本的普利司通公司于1968年开发成功并投入使用, 目前日本已成为橡胶履带的主要生产国家, 并在世界各地建有生产基地, 在产品质量、市场份额及品牌方面都处于领先地位; 韩国、斯里兰卡等国发展较快。我国的相关研究工作起步较晚, 由同立橡胶有限公司和杭州中策橡胶集团永固橡胶分公司于1988年首先研发并实现橡胶履带生产。橡胶履带制造由最初采用挤出机生产钢丝帘布的方式, 逐渐发展为单根缠绕生产钢丝帘布的无接头生产方式, 后来逐渐出现

了二次成型硫化法、一次成型硫化法和成型硫化一体化等成型方法。本文分别对各成型方法及其特点进行阐述。

1 二次成型硫化法

二次成型硫化法亦称为分段硫化法, 即硫化时将预成型的带坯分为若干段进行硫化, 是现阶段应用最广泛的生产方法, 按照钢丝帘布有无接头分为搭接式环形体二段硫化法和环形成型分段硫化法。

1.1 搭接式环形体二段硫化法

搭接式环形体二段硫化法^[16-22]工艺的简要流程如下: 炼胶出片→传动筋板表面处理→钢丝帘布挤出、裁断→长模成型硫化(两端通冷却水)→脱模→接头模成型硫化→脱模修边→检验入库。

利用该工艺生产橡胶履带时需要长模、接头模和鄂式硫化机, 橡胶履带带坯先在长模中用鄂式硫化机加压硫化, 两端预留出搭接的钢丝帘布长度, 并在长模两端通入冷却水, 使端部带体处于未硫化状态; 将脱模后的长带弯曲成型, 把两端未硫化部分放入接头模中, 将钢丝帘布上下搭接后成型硫化, 最终得到环状履带成品。

搭接式环形体二段硫化法的优点为成型方法简单、生产效率较高、劳动强度低、产品节数可变化等。其主要缺点为: 1) 带体厚; 2) 成本高; 3) 钢丝帘布的接头易抽出伸长; 4) 长模硫化时需在两

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(YS1403)

作者简介: 褚凡忠(1991—), 男, 河南周口人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事高分子材料成型加工及先进制造技术的研究。

*通信联系人

端通冷却水;5)接头模硫化时造成产品重复硫化,重复硫化部分硫化程度不一致,易导致裂口。

1.2 环形成型分段硫化法

环形成型分段硫化法^[17-22]工艺出现在搭接式环形体二段硫化法工艺之后,其简要流程如下:炼胶出片→传动筋板表面处理→钢丝帘线缠绕挂胶制成环形钢丝帘布→第1模成型硫化(四端通冷却水)→脱模→第2模成型硫化→脱模修边→检验入库。

该工艺需要两副模具和热板对称成型硫化,且热板可以移动取出。第1模成型时,将环形带坯放入上下两副模具中,并在两端预留第2模硫化所需的钢丝帘布长度,与搭接式环形体二段硫化法成型类似,硫化时每个模具两端需要通冷却水;第2模成型时,需将环形带坯沿环形轴向旋转一定角度,把未硫化钢丝帘布对称放入模具中成型硫化,最终得到环形履带成品。

环形成型分段硫化法的主要优点为:1)钢丝帘布无接头、带体不易伸长;2)产品节数可变化;3)与钢丝帘布搭接法相比可减小带体厚度;4)降低成本。其主要缺点为:1)第1模硫化时四端所通的冷却水难以控制;2)第2模成型重复硫化部分较多,导致硫化程度不一致,易产生裂口;3)生产效率低且劳动强度大。

为了提高产品质量,研究人员对环形成型分段法进行了改进。T. Muramastu^[23]使用两套不同的模具,用第1套模具和钢板在上下模中分别压出带芯金的花纹块,第2套模具需在两端使用辅助花纹块压出,然后逐段硫化得到成品橡胶履带。该方法步骤繁琐,成型效率低。藤田靖章^[24]使用上、中、下模同时进行硫化,除了在橡胶履带接头处的模具两端通入冷却水外,在中模中通入热流体进行加热,较T. Muramastu所用方法成型效率有所提高。陈荣^[25]、朱志勇^[26]、谢安良等^[27]提出了无接头钢丝帘布的制作方法,把芯金、钢丝帘布、橡胶条依次放入模具中预成型和分段硫化,使芯金定位准确、橡胶履带节距均匀。谢安良等^[28]设计了辅助小车装置,实现了胶料和芯金准确放置的机械化及自动化。R. Mai^[29]将胶条、钢丝帘线、芯金依次缠绕到成型鼓上,形成预成型贴合件后,放入模具中硫化成型,这种方法与前面所述工艺的不同

点是先在硫化模具外把各部分预成型为带坯,然后放入模具内分段硫化成型,使芯金较易放置,且定位更准确,并可缩短硫化时间。黄忠浩等^[30]在鄂式硫化机上加了前后导柱,使中层热板竖向运动自由,纵向进退平稳、方便,但使硫化机体积增大、占地面积扩大。朱树生^[31]设计了一种带有双面操作台的履带硫化机,功能上相当于两台传统鄂式硫化机,同时可减小机器占地面积,缩小操作台之间的距离,提高工作效率。许岚等^[32]设计了一种二段式无接头橡胶履带专用硫化机组,包括结构相同的一段和二段鄂式硫化主机、转序机器人、控制装置等。该机组的硫化主机与鄂式硫化机结构相似,但其中热板固定,上下模具合模后由锁模机构锁紧,机架不受合模机构的影响,且中热板的长度可以调节,从而可以硫化不同规格的橡胶履带。

2 一次成型硫化法

一次成型硫化法又称为无接头硫化法,与二次硫化成型相比,一次成型硫化的主要特点是带坯在模具中同时进行硫化成型,避免了硫化接头处带体硫化不均匀的现象,从而提高了橡胶履带的寿命。

L. T. Fike^[33-34]最早在美国申请了一次硫化成型法的专利,利用机械手将橡胶驱动齿和环形橡胶带坯依次放入圆形内模后,硫化内模和外模各模块沿径向运动,分别形成一个圆周,将橡胶驱动齿和环形橡胶带坯完全包围在内,然后带锥形腔的外模套在模具外增加合模压力。硫化模具采用分模块的形式,易于加工制造,且宽窄模块异步运动,能够形成完整的圆周,使模具结构紧凑,但整个成型过程较复杂,辅助设备较多。

蒋建国等^[22,35]研究发明的橡胶履带压注成型整体硫化法工艺的简要流程如下:收缩活络内模、放置芯金和内层胶→张紧活络内模→装入下模→安装外模并向压注室装外层胶→装入柱塞模并压注外层胶→硫化→脱去下模、柱塞模和外模→收缩活络内模、取出产品。

该工艺采用压注结构模具,模具主要由柱塞模、哈弗外模、活络内模和下模四部分组成。其主要特点是硫化内模为活络模,外模为整体模具,与

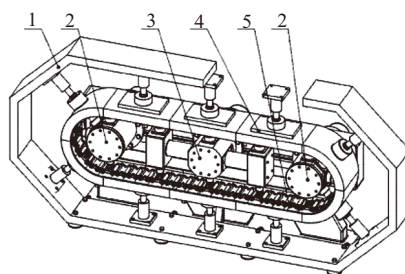
柱塞模和下模一起构成密闭型腔。柱塞模将外层胶从内模和外模之间的压注室经压注孔压注到模腔内。压注成型整体硫化工艺已使用在雪地车和农业机械橡胶履带的生产上,产品寿命比二次硫化成型法产品提高50%以上。

橡胶履带压注成型整体硫化法的优点为:1)带体胶料物性均匀一致,克服了传统工艺重复硫化所产生的硫化程度不一致、接头污染或接头冷却水失控等易导致的胶料裂口或断裂等质量缺陷,从而延长使用寿命;2)钢丝帘布无接头,带体不易伸长;3)只需一次成型硫化,比传统工艺生产效率高。其缺点为:1)采用圆形模具,模具节数固定,一副模具只能生产一种规格的橡胶履带;2)同种规格产品生产所需平板硫化机热板面积比传统工艺大,模具和设备投入较大。此外,蒋建国等^[36]设计的一次成型硫化装置由上下内模、上下外模、收缩张紧滑块、定位铰链等组成,通过可伸缩的收缩张紧滑块结构将上下内模连为一体。在收缩张紧滑块处于收缩状态时进行带坯安装或履带脱模,而张紧时进行硫化成型,从而一次完成硫化成型。

陈志强^[37]设计的圆型模硫化装置与蒋建国等^[36]的设计相比,不同之处在于模具外侧的油缸通过托模架驱动内模各模块,使油缸尺寸不受内模空间限制。朱树生^[38-39]设计的一次性硫化模具由内外模具、锥形柱塞等构成,内模由若干圆弧形模组成,能沿径向前后移动,便于橡胶履带的装模和脱模;内外模具合模后,锥形柱塞沿中心轴向下运动,向外挤压内模,补充合模后内模施加给带坯的压力使挤压更充分,合模更紧凑。该模具也只能成型一种规格的橡胶履带。彭威等^[40]设计的一次硫化成型模具,主要由内模板、外模板、冷却板、驱动油缸、锁模机构、支架等组成,内外模具均由多块异步模块组成,各模块通过相应的驱动油缸实现异步运动,有利于橡胶履带的装模和脱模,能够实现无接头一次硫化成型,解决了搭接头处强度低的问题,有利于改进橡胶履带的结构和生产工艺,提高生产效率,但对各模块运动精度要求较高,并且只能成型一种规格的橡胶履带。

杨卫民等^[41]设计的一种无接头橡胶履带一次性硫化成型设备如图1所示,主要由机架、圆周

段驱动部件、中部驱动部件、分段外模系统和链状内模组成,旨在解决现有生产设备分段硫化效率低及每台设备只能生产一种规格产品的问题。其简要生产工艺流程如下:链状内模收缩→在链状内模上安装预成型件→链状内模张开→外模板沿径向内移至硫化工位→内外模同时加压加热进行硫化→外模板沿径向外移→链状内模收缩→取出产品。



1—机架;2—圆周段驱动部件;3—中部驱动部件;4—分段外模系统;5—链状内模。

图1 无接头橡胶履带一次性硫化成型设备整体结构示意图

该工艺采用无接头橡胶履带一次硫化成型模具,优点为:1)可以一次成型,生产效率高;2)钢丝加强层在硫化时受力均匀,提高橡胶履带寿命;3)硫化时各部分温度比较均匀,履带强度高;4)采用矩形和圆形相结合的模具,模具节数可调,一副模具可以生产多种节数的橡胶履带,设备利用率高;5)采用电磁感应加热方法进行硫化,生热快、能源利用率高;6)避免和消除了产品重复硫化部位和胶料接头可能出现的缺陷。其缺点为结构较复杂、设计难度大、强度要求高。

3 成型硫化一体化硫化法

成型硫化一体化硫化是指橡胶履带带坯在硫化模具外进行预成型,预成型的内模同时作为硫化内模进行硫化,从而将预成型和硫化紧密结合起来。

L. T. Fike^[42]公布了一种拖拉机橡胶履带成型系统,其主要特点为:1)成型内模由上下两半成型内模啮合而成;2)导向齿橡胶块、未硫化橡胶条、帘布层和钢丝帘线在内模上依次放置形成预成型带坯;3)成型后的橡胶带坯连同成型内模一起在硫化外模中硫化。

A. J. Yovichin等^[43-44]公布了一种橡胶履带成

型方法,与驱动齿在中间的橡胶履带不同,其导向齿在橡胶履带的内表面两端错落分布,该方法的成型步骤与L. T. Fike^[42]所述成型硫化一体化成型步骤相同,不同点在于其成型内模是由若干辐条互相啮合而成的环状模具,比两半内模加工难度大,但更易脱模。

成型硫化一体化硫化法将预成型模具作为硫化内模使用,不仅精简了设备,减少了工艺步骤,保证了橡胶履带尺寸精确,而且提高了生产效率,但内模加工难度大,强度要求较高。

4 存在的问题和发展趋势

芯金具有动力传递导向与横向支撑的作用,因此在橡胶履带生产过程中要求芯金定位准确,以保证动力传递的均匀性和连续性。目前最常用的二次成型硫化法中芯金多数用人工定位,易导致接头附近的芯金距离不一,而且接头处的橡胶硫化质量不均匀。然而,由于二次成型法对设备要求较低,投入少,因此受到青睐。一次成型硫化法芯金定位准确,橡胶履带各部分硫化均匀,但硫化成型设备热板面积大,即设备体积较大,占地面积扩大,且对设备强度要求较高,辅助设备较多,投入大,因此一次成型硫化法未普及开来。成型硫化一体化硫化法相对于一次成型硫化法,能保证橡胶履带各部分在预成型和硫化过程中相对位置不变,芯金定位更准确,减少硫化成型步骤,但对硫化成型内模要求更高,设备更复杂。随着履带机械的发展,对橡胶履带的要求向长寿命、高强度、多品种、绿色节能等方向发展,而硫化成型是橡胶履带生产的关键环节,对橡胶履带的使用寿命影响很大,因此,硫化工艺和设备的改进至关重要。

目前橡胶履带的设计还是沿用比较传统的手绘设计方法,硫化工艺条件也是在已有的基础上反复试验确定,效率低,成本高。

近年来,计算机技术的不断发展以及各种仿真分析软件的开发和完善,为橡胶履带新品种的开发和硫化工艺条件的确定开辟了新道路,但是目前借助仿真分析软件的研究工作开展得较少,未来计算机辅助设计和制造橡胶履带将成为发展方向。

5 结语

目前我国已逐步发展成为橡胶履带的生产大国,但在产品品质及知名度方面不如日本等主要生产橡胶履带的国家,而且我国农业机械和工程机械使用橡胶履带较少,因此,我国生产的橡胶履带多出口日本、欧洲、北美等使用橡胶履带较普遍的地区,但多属于低端产品,且价格低廉,产品竞争力较低,附加值小。其根本原因是我国只拥有少数结构设计和硫化相关专利。这些专利总体代表了橡胶履带的发展方向,但在现有技术和生产成本等客观因素的限制下,在实际生产中应用的专利较少。

我国需在扩大国内橡胶履带使用市场的同时,注重拥有自主知识产权产品的设计和借助计算机技术进行制造新工艺的开发,在国内外现有的橡胶履带生产标准基础上,制定新的技术标准,形成一套符合自身可持续发展的规范,不断提高自身竞争力。

参考文献:

- [1] GB/T 20786—2006,橡胶履带[S].
- [2] 李鲁予. 4LZ-2型履带式喂入油菜联合收割机的研发应用[J]. 农业机械, 2011(25): 98-99.
- [3] Grisso R, Perumpral J, Zoz F. An Empirical Model for Tractive Performance of Rubber-Tracks in Agricultural Soils[J]. Journal of Terramechanics, 2006, 43(2): 225-236.
- [4] Ansorge D, Godwin R J. The Effect of Tyres and a Rubber Track at High Axle Loads on Soil Compaction. Part 1. Single-Axle Machine Studies[J]. Biosystems Engineering, 2007, 98(1): 115-126.
- [5] Ansorge D, Godwin R J. The Effect of Tyres and a Rubber Track at High Axle Loads on Soil Compaction. Part 2. Multi-Axle Machine Studies[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(3): 338-347.
- [6] Ansorge D, Godwin R J. The Effect of Tyres and a Rubber Track at High Axle Loads on Soil Compaction. Part 3. Comparison of Virgin Compression Line Approaches[J]. Biosystems Engineering, 2009, 104(2): 278-287.
- [7] Arvidsson J, Westlin H, Keller T, et al. Rubber Track Systems for Conventional Tractors—Effects on Soil Compaction and Traction[J]. Soil & Tillage Research, 2011, 117(6): 103-109.
- [8] Molari G, Bellentani L, Guarnieri A, et al. Performance of an Agricultural Tractor Fitted with Rubber Tracks[J]. Biosystems Engineering, 2012, 111(1): 57-63.
- [9] 柏红专, 罗亮平. GTBZ14型折叠臂架式橡胶履带高空作业平台[J]. 建筑机械化, 2006, 27(1): 32-33.
- [10] 刘长根, 王彭, 柏红专, 等. 一种高空作业车[P]. 中国: CN

- 2730846Y, 2005-10-05.
- [11] Teramoto E, Yabe F, Fukushima K, et al. Development of a High-speed, Half-tracked Truck with Metal-coreless Rubber Track[J]. Journal of Terramechanics, 1996, 33 (2) : 113-123.
- [12] Ying J L, Highfill J L. Low Profile Rubber Tracked Snow Vehicle with Snow-clearing Drive Wheels[P]. USA:USP 5 899 541, 1999-05-04.
- [13] 陈凯运, 李德成. CTW12橡胶履带全地形车[J]. 工程机械, 1993 (1) : 3-4.
- [14] 闻舞. 橡胶履带——装甲兵的新宠[J]. 环球军事, 2008 (10) : 49.
- [15] 李博. 盐业机械中橡胶履带的选用[J]. 盐业与化工, 2015, 44 (4) : 27-30.
- [16] 武真. 农机和工程车辆用橡胶履带[J]. 世界橡胶工业, 1999, 26 (2) : 23-28.
- [17] 周世元. 橡胶履带的结构与制造[J]. 橡胶工业, 2003, 50 (9) : 539-541.
- [18] 王克成. 橡胶履带现代工艺学基础(一)[J]. 中国橡胶, 2008, 24 (2) : 37-39.
- [19] 王克成. 橡胶履带现代工艺学基础(四)[J]. 中国橡胶, 2008, 24 (5) : 39-41.
- [20] 王克成. 国内橡胶履带发展趋势及优化设计综述(一)[J]. 中国橡胶, 2011, 27 (1) : 39-42.
- [21] 王克成. 橡胶履带的设计及加工工艺[J]. 橡胶工业, 2009, 56 (4) : 220-223.
- [22] 蒋建国. 橡胶履带压注成型整体硫化工艺研究[J]. 橡塑技术与装备(橡胶版), 2014, 40 (1) : 29-32.
- [23] Muramatsu T. Apparatus and Method for Curing Endless Rubber Track[P]. USA:USP 5 536 464, 1996-07-16.
- [24] 藤田靖章. 橡胶履带的制造方法[P]. 中国:CN 1469799A, 2001-01-21.
- [25] 陈荣. 一种橡胶履带的制造方法[P]. 中国:CN 1223213A, 1999-07-21.
- [26] 朱志勇. 绕制式无接头帘线的橡胶履带制作[P]. 中国:CN 1400130A, 2003-03-05.
- [27] 谢安良, 王萌麒, 王香亚, 等. 橡胶履带预贴合成型装置[P]. 中国:CN 103240807A, 2013-08-14.
- [28] 谢安良, 王殿辉, 陈燕飞, 等. 一种E形缠绕橡胶履带硫化设备[P]. 中国:CN 103331851A, 2013-10-02.
- [29] Mai R. Process for Making Rubber Tracks and Rubber Track Made Thereby[P]. USA:USP 5 221 392, 1993-06-22.
- [30] 黄忠浩, 钱穆英. 橡胶履带硫化用中层热板纵向进退平衡装置[P]. 中国:CN 200984794 Y, 2007-12-05.
- [31] 朱树生. 一种带有双面操作台的履带硫化机[P]. 中国:CN 201483692 U, 2010-05-26.
- [32] 许岚, 陈慧萍, 陈燕飞, 等. 二段式无接头橡胶履带专用硫化机组[P]. 中国:CN 103057009 A, 2013-04-24.
- [33] Fike L T. Method and Apparatus for Making an Endless Rubber Tractor Track[P]. USA:USP 6 051 178, 2000-04-18.
- [34] Fike L T. Method and Apparatus for Making Integral Rubber Tractor Tracks[P]. USA:USP 6 177 042B1, 2001-01-23.
- [35] 蒋建国, 陈毛喜, 徐同春, 等. 一种压注式无接头橡胶履带一次成型硫化模具[P]. 中国:CN 102785306 A, 2012-11-21.
- [36] 蒋建国, 许同春, 陈爱霞. 无接头橡胶履带一次成型硫化装置[P]. 中国:CN 101804677A, 2010-08-18.
- [37] 陈志强. 一种圆模橡胶履带整体硫化装置[P]. 中国:CN 202753318U, 2013-02-27.
- [38] 朱树生. 橡胶履带一次性硫化模具[P]. 中国:CN 104260238A, 2015-01-07.
- [39] 朱树生. 一种橡胶履带一次性硫化成型工艺[P]. 中国:CN 104385505A, 2015-03-04.
- [40] 彭威, 胡忠举, 袁黎, 等. 无搭接环形橡胶履带一次硫化成型模具设计[J]. 机械设计与研究, 2013, 29 (6) : 36-40.
- [41] 杨卫民, 邵剑波, 何雪涛, 等. 一种无接头橡胶履带一次性硫化成型设备[P]. 中国:CN 103707447A, 2014-04-09.
- [42] Fike L T. Molding System for Rubber Tractor Tracks[P]. USA:USP 6 086 811, 2000-07-11.
- [43] Yovichin A J, Thomas R A, Homolak R P. Rubber Track and Improved Method and Method for Producing the Track[P]. USA:USP 6 554 377B2, 2003-04-29.
- [44] Yovichin A J, Thomas R A, Homolak R P. Mold for a Rubber Track[P]. USA:USP 6 716 012B2, 2004-04-06.

收稿日期: 2015-10-27

低噪声全钢载重子午线轮胎项目获奖

中图分类号:TQ336.1 文献标志码:D

据河南省工业和信息化委员会透露, 风神轮胎股份有限公司《低噪声全钢载重子午线轮胎的生产与应用》项目, 荣获2015年度河南省工业和信息化科技成果一等奖。

低噪声全钢载重子午线轮胎为高性能轮胎产品, 属于无内胎轮胎系列产品。该项目轮胎设计的创新点有: 利用流体力学及气动声学、仿生技术对结构设计进行优化, 并在胎体中增加特殊的吸

声和吸振结构, 降低胎体对振动激励的响应, 起到降低轮胎振动噪声的作用; 在花纹沟槽内部布置仿生非光滑结构, 降低轮胎气动噪声; 在配方设计方面, 采用正交试验优化设计, 选用最佳绿色环保配方, 改善了胎面胶的物理性能, 提高了轮胎的耐磨性能。产品性能符合GB 9744—2007标准要求, 已通过欧盟认证, 现产品已出口到欧美地区, 用户反映产品具有良好的降噪和操控性能。

(摘自《中国化工报》, 2015-12-11)