

国外废旧轮胎处理和再生利用的最新进展

吴秀兰,李贵君

(北京橡胶工业研究设计院,北京 100039)

摘要:介绍了国外废旧轮胎处理和再生利用的最新进展。轮胎回收再利用可分为原形利用、加工利用和热利用3种形式。原形利用主要介绍了美国班达格公司和意大利马朗贡尼公司的预硫化翻胎技术与设备。加工利用分再生胶和胶粉两部分:再生胶最新脱硫方法是美国 ULTRAMER 公司的超声波脱硫法和马来西亚的 De-Link 脱硫法;最近推出的胶粉生产设备有美国 EURECTEC 公司的 EGS 常温粉碎系统等,该系统与其公司的 REVULCON 部分脱硫设备配合组成全套橡胶回收设备。热利用主要介绍了轮胎作燃料的燃烧利用。

关键词:废旧轮胎;处理;胶粉;再生胶

中图分类号:TQ336.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8171(2000)02-0067-06

随着汽车工业和公路运输业的飞速发展,废旧轮胎堆积如山的局面越来越严重。仅头号汽车工业大国美国一年报废轮胎就超过 2.75 亿条,全球每天产生废轮胎 500 多万条。堆积如山的废旧轮胎不仅有明显的污染问题,而且还存在严重的火灾隐患。比火灾更严重的危险是污染地下水源,一旦污染地下水源,将会危及所有生物的生存。因此,欧共体国家到 2006 年将完全禁止填埋处理废旧轮胎。许多国际大公司、各国政府和地方政府都在迫切寻求解决日益严重的废旧轮胎处理问题的方法。轮胎回收再利用可简单分为原形利用、加工利用和热利用3种形式,本文分别介绍这3种利用的国外最新进展。

1 原形利用

1.1 简单原形利用

除将废轮胎直接用作护舷材料、渔礁材料、保土材料、浮灯浮架和游戏用具等外,还可用作隔音消音材料。法国 ACIAL 公司开发的一种降低噪声装置,是一个内装有许多条轮胎的金属箱子。箱子对着噪声源的一面钻有许多孔洞,能将噪声汇集到箱子内由半条轮胎组成的

吸声体上,可以吸收掉 85 % 的噪声。此外,还可将废轮胎熔化,制成橡胶板后粘在铁板上,作为高速公路的隔音墙。

1.2 胎面翻新

轮胎“废”、“旧”概念的区分在于是否有翻新价值。在轮胎生产成本中,胎体约占 75 %,如果轮胎在使用中一次性报废,轮胎价值的一半将被浪费掉。如果轮胎翻新后再使用,其寿命将延长约 1 倍。目前世界各牌载重轮胎一般都可翻新 2~3 次,而且翻胎寿命接近甚至超过新胎,售价仅比新胎稍低一点,因此其经济效益非常可观。

传统翻胎方法简称热法,即将未硫化的胎面胶按照工艺尺寸粘合在经过打磨的胎体上,然后送入个体翻胎硫化机,在高温高压下硫化,生产出翻新轮胎。预硫化翻胎法则简称冷法,是把已经经过硫化成型带有花纹的胎面胶条(环)粘合到经过打磨的胎体上,罩上包封套送入硫化罐,在较低温度和一定压力下进行硫化,生产出翻新轮胎。这种方法是翻新轮胎技术上的革命,是目前世界最先进的翻胎技术。其生产工艺过程如下。

(1) 选胎检查

使用轮胎检查机,按照翻新轮胎选胎标准对胎体进行全面检查,然后选出适合翻新的轮胎。

(2) 磨锉

使用轮胎磨锉机和小磨机,按照施工尺寸要求,磨锉轮胎顶部及轮胎破损部位,除掉已氧化橡胶层,并产生符合要求的磨锉面。

(3) 涂胶

在磨锉面涂上粘合胶浆。

(4) 修补

将轮胎破损部位用垫胶填补整齐并符合要求,在补强部位粘合补强衬垫(即修补片)。

(5) 贴粘合胶

在磨锉过的胎面上粘合一层垫胶(缓冲胶),作为与预硫化胎面胶条粘合的媒体。

(6) 上胶

测量轮胎周长,配置适当长度的预硫化胎面胶条,然后使用上胶机把选好的预硫化胎面胶条准确地压合在轮胎胎顶部位。

(7) 组装

将粘合好预硫化胎面的轮胎在胶套开按机上罩上包封套,再在轮辋拆装机上装好内胎、垫带和轮辋。

(8) 硫化

将轮胎组装体送入翻新胎二次硫化罐内,在较低温度和一定压力下进行硫化,使预硫化胎面、补强衬垫与胎体牢牢地结合在一起。

(9) 解体

将硫化后的轮胎组装体经轮辋拆装机和胶套开按机拆掉轮辋、垫带、内胎和包封套。

(10) 成品检查

按翻新轮胎质量标准做最后成品检查。

预硫化胎面翻新方法的优点如下。

(1) 胎面胶耐磨耗,行驶里程高

预硫化胎面胶采用优质原材料和高新配方技术,在高压条件下硫化制成,胎面胶密实、耐磨。

(2) 保证最佳品质

这种方法选择高品质胎体,在翻新过程中不必经受高压、高温,胎体无变形和老化现象,因此延长了胎体使用寿命。

(3) 适于子午线轮胎翻新

这种方法不使用固定模具,因此不受模具尺寸限制,适合于几乎没有伸缩变化的子午线

轮胎翻新。

(4) 设备投资少

一台翻胎硫化罐可代替几十台个体硫化机,并彻底省去了热法经常必须更换模板的投资。其投资只有热硫化翻胎系统的 1/4。

(5) 占地面积小

占地面积只需热硫化系统的 1/5。

(6) 操作人员少

操作人员只需热硫化系统的 1/7。

(7) 能耗小

能耗只需要热硫化系统能耗的 1/5。

(8) 效益高且无环境污染

预硫化法每条轮胎纯利润为热硫化法的数倍。

下面分别介绍目前欧美具代表性的美国班达格公司和意大利马朗贡尼公司的新技术和新设备的特点。

(1) 班达格

班达格公司的翻胎工艺流程为:初检——打磨——胎体扫描——切割——涂浆——修理——填充——成型——装包封套——硫化——成检——修饰——入库。

(a) 班达格翻胎技术最注重的是对胎体的质量要求。

按照选胎条件,采取初检(外观质量检查)和精检(对胎体质量的非破损性分析)2种方法。初检方法和采用的机具基本同于国内的热翻法,主要设备是一台 396 型提升检查扩胎机。胎体的精检是当轮胎打磨之后,通过置于打磨机上的 NDI 胎体分析仪,利用超声波探测物体,遇有界面或异常(杂质)时,反射频率发生明显变化。

(b) 胎体打磨

打磨设备有半自动和全自动型。较先进的 ECLIPSE SYSTEM 的 MODEL 811C 适用于 7.00 - 14 ~ 17.5 - 25 规格轮胎。设有打磨参数读取器、电子控制的进刀装置系统、可调速的轮胎驱动和照明装置、用于进行磨后修整及胎侧打磨的摇臂式磨轮、子午线轮胎带束层剥离的刀具及一对磨面导向激光器。全机附设有安全打磨装置,生产能力为 20 条 h^{-1} 。

(c) 轮胎修理

班达格认为,没有高精的轮胎修理技术,轮胎的翻新寿命就不能得到保证。完成修理作业采用的机具是定型标准设计的装备系统,包括1台372型扩胎机和一整套操作工具配套工作台及照明系统。该装备系统完成的整体作业是胎里损伤部位的处理,即打磨、清洁、除尘及补片贴敷。胎外损伤部位的处理将由填充系统完成。填充系统包括1台挂胎架和1台胶料挤出枪,该装备系统完成的整体作业是损伤部位填充胶料。微形挤出枪是完成局部胶料填充唯一取代手工填充的方法,正被国外普遍采用,具有填胶实、粘合性能好、效率高和省力的优点。

(d) 胎面贴成型

胎面成型是在MODEL 5110C全自动成型机上进行的,成型工艺虽较单一,但却有较高的技术要求。该设备设有中垫胶-胎面自动贴合装置,完成中垫胶与胎面的一体贴合;设有胎面贴合的自动导向装置,以确保对准贴合中心;设有轮胎双速驱动系统及胎面裁断刀具,底侧一对压辊进行贴敷压合。还装有可膨胀网系列,5110型磨胎机适应胎圈间距为165~340 mm、轮辋直径为356~622 mm的轮胎打磨,其适应的广泛性,可称之为万能机台,工作效率为20条 $\cdot$ h $^{-1}$ 。

(e) 包封套的使用

包封套采用气密性优良的IIR制造,应与轮胎规格专一配套。包封套对于无模硫化工艺具有重要的作用。当包封套-轮胎间抽真空后,所形成负压不仅有利于胎体内气体的逸出,更重要的意义在于包封套所起的柔性模作用,把施与的压力均匀传递于胎面的各个部位,包括花纹沟底,使全胎面区域具有均一的附着强度。包封套对于硫化过程中垫胶的流失同时起到封闭的作用,从而保证胎肩接缝部位平滑的外观质量。

包封套装卸采用的是7.50型气动包封套扩张机。机械构造原理同于一般气动扩胎机,构造形式为8个复式收-扩气缸,同步工作。具有安装与拆卸包封套功能。该设备与单轨吊车组成统一系统,即包封套扩胎机设置于与单轨

吊车垂直的地面位置,当包封套安装和拆卸后,轮胎即悬挂于吊钩去向道工序。

(f) 翻胎硫化。

翻胎硫化采用的是自行设计生产的4130型硫化罐。载重系列轮胎容量为22条。采用的硫化温度为99℃,硫化时间为210 min(子午线轮胎为170 min)。4130型硫化罐配装有C400型电脑控制系统,可控制罐内最佳硫化条件,并具有故障监视和报警功能等;还配有不锈钢阀门系统及DPC微分压力控制快速排气装置。硫化合格率高于99.6%。

班达格预硫化胎面种类按照不同的功能区分,基本上可分为五大类别,包括各种花纹设计大约近70余种。若按规格(尺寸)区分约有290余种。

(2) 马朗贡尼

意大利马朗贡尼公司经营2种不同的胎面胶生产线,一种是环状预硫化胎面,即RTS技术系统;另一种是“金翼”形胎面。据报道,“金翼”形胎面是马朗贡尼公司在90年代推出的、欲在欧洲与美国班达格公司相抗衡的新技术。

“金翼”形胎面是一种凹形(翼形)断面的胎面,“金翼”表示该种预硫化胎面胶条的外形特征。该种胎面重现了新胎的精确而平衡的断面形状,因而“金翼”形胎面胶条能完全与胎体贴合,保证胎面胶条能满足翻胎较高性能的需要。

马朗贡尼的翻胎技术适用于大、中、小型不同规格的胎面胶和翻胎生产系统,下面简要介绍部分新型翻胎设备的技术性能和特征。

(a) DUETTO型电子磨胎机

DUETTO型电子磨胎机是一种先进的、操作简便的磨胎设备,适于轿车及轻型载重车轮胎的自动磨胎机械,使用可更换的胎圈盖板范围为254~445 mm。该机用六坐标数码控制整个自动工作周期的程序。

为节省磨胎时间,使用两个磨头对轮胎进行打磨,磨头的工作面为半圆形。该机对操作者的工作条件和安全问题已作充分考虑,将轮胎压板作水平排列,轮胎在打磨中不必再次翻侧,使操作更加简便。此外,该机还采用了一种自动负荷和无负荷系统,并可按用户要求提供

隔音和防护舱。

(b)“蓝箭”型载重轮胎磨胎机

“蓝箭”型电子磨胎机适用于载重轮胎打磨,规格范围为 8R17.5 ~ 12.00R24,使用可更换的胎圈盖板范围为 445 ~ 610 mm。该机特点是全机没有液压运动,从而有设置电子控制器件的可能性。轮胎用削片刀和粗锉头进行打磨,削刀和磨头安装在由六坐标数码控制的无电刷电机上工作,磨胎部件按要求的轮廓移动进行打磨。

(c) ALPHA 电子挤出成型机

ALPHA 2 型挤出成型机生产线是把凸型胶条在可更换的不同型号的专用夹鼓上缠绕,轿车轮胎和载重轮胎(规格为 5.20 - 12 ~ 13.00 - 24)用 25.4 mm 型夹鼓,飞机轮胎、大型载重轮胎和农业轮胎(轮胎最大直径 1 680 mm)用 50.8 mm 型夹鼓。整个工艺过程是完全自动进行的,操作者只需要按照轮胎胎面胶的尺寸设定工作程序,即可由机器的电子存储器把程序贮存并进行控制。

2 加工利用

2.1 再生胶

再生胶可用于轮胎、胶板、胶带等制品。制造方法大致分为简易再生法和脱硫再生法。

(1) 简易再生法

简易再生法可分为机械再生法、机械化学法和低温化学法。其中低温化学法是制取再生胶最理想的方法。具有代表性的 TRELLE-BORG COLD RECLAIM POWDER 再生法是在低温粉碎胶粉中混入少量的增塑剂和再生剂,然后送入粉末混合机中于室温或稍高的温度下进行短时间处理即可。这种方法的优点是环境污染少、省力和节能。

另外,由马来西亚的 Sekhar B C 博士和俄罗斯的 Kormer V A 博士共同发明的 De-Link 脱硫工艺使脱硫生产变得非常简单。De-Link 是一种无毒再生剂,它与硫化橡胶物理混合可以生成 De-Vulc——一种使硫化过程逆反的再生材料。这种材料保留了原硫化胶初始性能的 50 % ~ 70 %。De-Vulc 无需添加任

何昂贵的硫化剂便可再次模制和硫化。

(2) 脱硫再生法

脱硫再生指的是通过在 200 °C 左右的高温下使胶粉产生氧化和部分分解,同时使一部分硫黄交联键断裂而使橡胶具有可塑性。在脱硫再生中可根据需要添加再生剂、再生油和操作油等。传统的脱硫方法有油法和水油法。目前比较先进的再生方法是高速混合脱硫法、微波脱硫法、辐射脱硫法和超声波脱硫法。

(a) 高速混合脱硫法

高速混合脱硫法中最先进的是连续挤出加工法。该法用高压挤出机在 175 ~ 205 °C 下加工胶粉,可以 1 ~ 3 min 为一加工周期进行连续加工。

(b) 微波脱硫法

微波脱硫法是利用微波能的作用使胶粉中的 S—S 和 S—C 键断裂,其优点是热效率高。为了使脱硫达到所需的高热,用于脱硫的胶粉最好具有极性,故胶粉最好配合有炭黑等。用无接头输送带将胶块输送到破碎机破碎成粒径为 6 ~ 10 mm 的胶粒。加工温度为 260 ~ 350 °C,加工时间因胶粒的成分不同而不同。脱硫橡胶为粒状,或者放到精炼机压成原胶片。由于用微波脱硫法制取的再生胶物理性能比用其它再生法制得的再生胶好,故特别适合于与 EPDM 或 IIR 并用,并用时可配合 10 % ~ 15 % 的再生胶。

(c) 辐射脱硫法

辐射脱硫法是用 γ 射线照射使 IIR 硫化废胶再生。它与其它方法相比,处理简单,产品质量稳定性好。通过增加 γ 射线照射量,可提高塑性值,但粘度、平均相对分子质量、拉伸强度、扯断伸长率、硬度和弹性下降。

(d) 超声波脱硫法

超声波脱硫法通过具有一定压力和热的超声波破坏硫化胶的三维结构而达到再生的目的。阿克隆大学于 1993 年发明此法,并将技术转让给俄亥俄州的 ULTRAMER 公司。据专利介绍,所有轮胎胶粉或轮胎橡胶磨屑喂入挤出机,通过螺杆送入加工区——“黑色魔盒”。在此区域,橡胶经受超声波发生器发出的高频

压力波的作用而生产出脱硫橡胶,见图1^[1]。据 UL TRAMER 公司技术主管 Borom 先生称,他们尚未扫除此法商业化生产的成本和技术障碍。因此,超声波脱硫法商业化生产尚待时日。

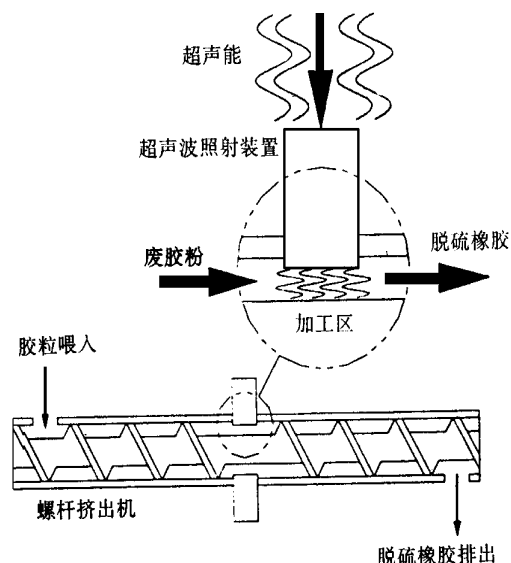


图1 超声波脱硫加工简图

2.2 胶粉

2.2.1 粉碎

根据粒度,胶粉可分为粗碎胶粉、细碎胶粉、微碎胶粉和超微碎胶粉4种。除粒度为 $500\mu\text{m}$ 以下的胶粉可作为再生胶原料外,新型超细均匀胶粉可用于各种类型轮胎的各部件,同时还可用于翻新轮胎的胎面胶,其配合量可达总胶量的30%。大量的粗碎胶粉可用于溶剂膨胀胶垫和胶板等;细碎胶粉用于运动地面、高尔夫球场和人行道铺装材料及枕木胶垫、水池边的胶块等;微碎胶粉用于模制品和挤出品,也可用于铺路沥青的改性材料和屋顶材料等。用废轮胎生产胶粉主要有3种方法。

(1) 常温机械粉碎法

常温机械粉碎法一般分为3个阶段:

- 将大块轮胎胶破碎成5cm见方的小块;
- 用粗碎机将上述小块破碎成粒径为2cm的粗粒,然后将粗粒送入磁选机分离出钢丝杂质,再送入风选机除去废纤维;
- 用细碎机将上述粗粒进一步磨碎后,经筛选分级,最后得到粒径为 $40\sim 200\mu\text{m}$ 的成品胶粉。

采用这种方法可得到占每条废轮胎质量75%~80%的胶粉,其余15%~20%为钢丝杂质,5%为废纤维。

美国 EURECTEC 公司最近推出了 EGS 常温粉碎系统^[2]。使用该系统,轿车轮胎可直接喂入切割机,而大型载重车轮胎则必须首先用胎圈拆除机将胎圈拆掉。将轿车轮胎胎体和拆掉胎圈的载重车轮胎胎体喂入切割机 SHREDMASTER,以 $5\text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度切割成5cm见方的小块,再通过 GRIZZLY 粗碎为6,18或25mm的碎块。接下来是磁选和风选,将钢丝和纤维碎屑分离出来。生产速度为 $5\text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ 的切割机配2条加工速度为 $2\sim 3\text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ 的三段精碎生产线。一段加工出的胶粉粒径为 $2\sim 4\text{ mm}$,同时分离出剩余的钢丝和纤维废屑;二段胶粉粒径为 $0.5\sim 2\text{ mm}$;三段则加工出 0.5 mm 或更细的胶粉。为提高胶粉的纯度和减小胶粉粒径,在三段的输出末端可配用该公司新研制的超级粉碎机 SUPERCOLLIDER。在各段粉碎机之间还设有 SCREENMASTER 滚动筛,将胶粉按粒径尺寸分级装袋,典型产品是细度为5,10和35目的胶粉。

1998年5月,EURECTEC公司宣布其新推出的 REVULCON 工艺为对废轮胎和其它废橡胶制品进行部分脱硫加工的革命性方法,可大大拓宽回收废橡胶的应用领域。该工艺适于各种工业和商用橡胶废物的加工,而不限粒径、粉碎技术、来源和供货者、生胶基质或纤维残余物。该工艺加工时可方便地重复进行。

综上所述,从切割、粉碎到脱硫,橡胶回收工业第1次有了全套回收生产设备。

(2) 常温湿粉碎法

常温湿粉碎过程中,研磨介质(大多是水)的温度不超过 82°C ,远远低于大多数胶料的热降解临界温度(149°C)。用常温湿粉碎法生产的胶粉特别洁净,杂质极少且保持特定聚合物的流变特性和化学性质。

(3) 冷冻粉碎法

德国 INTEC 公司的 INTEC RC400 废轮胎处理装置采用了获得专利的超低温法,并进行了多项技术革新,加工过程全自动化且无公

害。其加工过程如下:

(a)用工业用切割机将轮胎切成手掌大小的胶块;

(b)用第1冷却槽初步冷却胶块;

(c)用氮气在第2冷却槽进行超低温冷却,使胶块冷却到粉碎所需的温度;

(d)用新开发的回弹式粉碎机将处于超冷冻状态下的轮胎块破碎成粒子或粉末;

(e)用干燥机将胶粒的水分降低约1%;

(f)用磁选机从橡胶制品中除去金属成分;

(g)用筛选机将不同粒度的胶粒分类;

(h)用电控的有效筛选机将残留的纤维和金属成分除去。

用INTEC RC400型装置可全部筛选出橡胶、金属和纤维成分,加工出高纯度、高质量的胶粒或胶粉。其产出物料是:约65%的橡胶、约5%的纤维和约30%的金属。与常温粉碎法相比,细度为40、60和80目等的超细胶粉的产量高得多。

以上3种方法各有千秋。常温粉碎法有设备磨损大、能耗多的缺点,但较之其它两种方法,在现阶段不失为比较可取的工艺方法,因为用常温湿磨法时溶剂回收难,而冷冻粉碎法则冷冻成本高。

2.2.2 活化

胶粉应用的技术关键是硫桥键合的惰性和细碎。尽管目前已有粗胶粉的多种活化方法,但均系表面作用,缺乏深度活性,且其活化也大多不稳定。近年来,国外正在开发化学-微生物活化技术。此技术的关键仍然是胶粉的超细化。目前,化学-微生物活化用的胶粉需粉碎到200目。可见,对废胎进行机械切割、破碎、细化和筛分,还包括钢丝和纤维的有效分离等,其工业化生产技术乃是关键。

3 热利用

3.1 裂解

每条轮胎经过裂解可提取9.0~13.5 L的油及烃和炭黑等其它干馏分解物。

3.2 燃烧

燃烧一条废轮胎可产生约32 kJ的热量,

其生热值比木材和煤炭高。

(1)作为水泥燃料和原料

将切碎的废片或整个轮胎从水泥粉末原料投入口投入,橡胶在300~350℃下气化和急剧燃烧,并在450℃下燃烧结束;炭黑在600~650℃下完全燃烧成灰。废轮胎或胶片燃烧可以产生一氧化碳和碳氢化合物,且具有降低氧化物含量的效果。轮胎中的硫黄和钢丝可作水泥原料成分。

(2)作为锅炉燃料

近几年日本以废轮胎为主燃料的锅炉发展很快。住友公司在其白河厂和名古屋厂都安装了以废轮胎为燃料的锅炉。白河厂的锅炉可燃烧整条轮胎,向厂内供汽,年处理能力为5 kt;名古屋厂的锅炉年处理能力也为5 kt,不仅向厂内供汽,还可发电630 kW·h。普利司通公司在其栃木厂也安装了以废轮胎为燃料的发电装置,每天可燃烧约60 t废轮胎(相当于9 000条轿车轮胎),最大发电能力为5 000 kW·h。

4 结语

多年来,我国偏重于废旧橡胶的“再生”,着力“高深提炼”的研究,着眼点不在废旧轮胎的处理上。废旧轮胎如同废纸烂布一样,一直由物资回收部门回收。我国对于废旧轮胎的处理问题一直没有给予足够的重视,到21世纪,这个问题势必会突出地显示出来。谁抓住了废旧轮胎的处理方法和这方的高新技术,谁就有大的发展。建议轮胎翻新厂家借鉴国外的先进技术开展废旧轮胎的回收业务,进行废旧轮胎的挑选分类和加工再制作等工作。

致谢:在本文写作过程中得到涂学忠高级工程师和黄品琴高级工程师的指导和帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Begin S. Breaking links[N]. Rubber & Plastics News. 1999-04-19(10).
- [2] Buckley D. Full circle tire recycling[A]. In: Gale L. Rubber Technology International '98[C]. Surrey:UK & International Press, 1998. 157.