

## 行业发展

## 创新促进废橡胶产业节能环保和可持续发展

刘增元

(天津市橡胶工业研究所, 天津 300384)

近 16年来,我国废橡胶综合利用产业的技术创新可分为两个阶段,前 10年主要表现为常温粉碎工艺的研究。近 6年来,则主要是新型再生工艺、特种合成橡胶的再生及节能型废子午线轮胎粉碎设备的工业化开发。

## 1 再生橡胶生产工艺与废橡胶资源结构变化

自二十世纪 90年代以来,我国再生橡胶生产工艺主要采用工作压力 $\leq 2.2\text{MPa}$ 的高温动态设备,该装置比较适用废旧斜交轮胎中的橡胶及通用型、半通用型硫化橡胶的再生。

进入二十一世纪以来,随着中国成为世界橡胶工业大国地位的确定,并以较快的速度向世界橡胶强国发展,作为综合利用产业的原材料也随之发生了较大的变化。2005年,我国子午线轮胎已占轮胎总产量的 51%以上。特别是全钢子午线轮胎的产量不断增加,而斜交轮胎 2006年的产量则下降了近 30%。非轮胎制品中,特种合成橡胶制品及橡塑复合材料的二次资源数量增长 30%以上,废橡胶综合利用产业已开始面临资源组分变化的新态势。

据中国环保产业协会、中国橡胶工业协会及中国化工报专栏记者联合组成的废橡胶综合利用产业现状专题调研表明,仅北方组在河北玉田、沧州、衡水、任丘 4个地区及天津、北京、四川、重庆、湖南、河南、山西平遥、汾阳 8个地区共 12个区域 240余家废橡胶综合利用企业粗略统计,再生橡胶产量约为 100万 t(见表 1)。

经调查表明,上述 185家再生橡胶企业其废轮胎利用量约占废橡胶总量的 92%以上,其中,斜交轮胎与子午线轮胎的比例约为 70:30。其他废橡胶利用种类为非轮胎橡胶材料,主体为胶鞋、

胶带、丁基内胎、天然橡胶/丁基橡胶内胎、丁基胶囊和少量力车胎,自行车胎及硫化橡胶制品的边角料。从以上数据可以看出,我国废旧轮胎产生量和高比例利用率直接影响了废轮胎价格的不断攀升。据有关部门统计,2005年非轮胎橡胶制品的生胶耗量约 28.57万 t,预计 2010年将达到 40.22万 t。由于制品中橡胶烃含量一般多为 35%~40%,若以这两个年份的生胶耗量计算其废橡胶产生量,约为 60万 t和 100万 t。在充分利用废子午线结构轮胎材料的同时,扩大非轮胎橡胶制品二次资源的使用量将是废橡胶综合利用产业技术创新的资源机遇。

表 1 废橡胶利用统计

地区	企业总数/家	再生胶产量/万 t	胶粉企业/家	土炼油/家	分解企业/家	废胶利用/万 t
玉田、迁西、丰南	59	44/24	20	8	20	40
天津	16	14/11.8	2			12
沧县	35	35/10				10
四川	14	14/8		15		8
重庆	3	3/1				1
湖南	20	8/4.5		13		5
北京	11	6/4	7			6
任丘	8	8/6				6
衡水	8	8/4.5		6		5
山西平遥、汾阳		45/27		34		50
合计	241	185/100.8	29	76		

## 2 行业技术进步

近三年,废橡胶综合利用产业中的专家和智者,在注意稳定现行产品品质的同时,更注重新工艺、新设备的开发研究。并已在诸多方面将研究成果转化为生产力,在降低生产成本,提高企业经济效益和市场竞争能力三个方面成效显著。

## 2.1 设备

废橡胶再生利用过程中,前期粉碎和后期捏

炼出片占总加工能耗的 75%以上,挖掘加工能耗剩余价值,提高有效功率因数的利用率。设备节能设计是近年废橡胶产业重点领域的亮点。

1 节能型粉碎机。由常州三橡机械公司研制的无速比齿轮  $\Phi 450$  粉碎机在设计上进行再优化,其装机在 55 kW 不变配置条件下,对减速机齿面进行中频硬化处理。沟滚、沟槽角度调整后,其单机产量可提高 10%~12%,环境噪音降低 3~5 dB。

2 精炼出片机。由四川亚联机械有限公司设计改造的高线速 ( $49\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) 低装机容量 (55 kW)、 $\Phi 480\times\Phi 610$  精炼机已在隆昌海燕公司工业化应用,使用后产能可提高 15%以上。

3 子午线轮胎粉碎系统。由北京永久兴胶粉厂研制并工业化的节能型全钢子午线轮胎粉碎系统已进入市场运作环节。该机组的特点是节能高效,在工艺上可分为两部分:①由切子午圈剪板式切割机、连续切块机组成的机组,对 9.00~12.00 规格的废全钢子午线轮胎进行联动切割造粒(粒径  $25\text{mm}\times 25\text{mm}$ ),每小时产量达到 1t,而每吨电耗仅为 14 kWh。②采用常规  $\Phi 400$  粉碎机与第一部分配套,对钢丝、橡胶块进行粉碎,机台装机容量仅为 45 kW,日产 28 目胶粉超过 5t。由于在设计上采用多级滚网式磁选,除金属磁选率达 99.9%以上,橡胶粉和钢丝分离清晰,回收后的镀铜短丝每吨售价达 1500 元。北京永久兴胶粉厂采用双组分焊条对沟滚表面的突棱进行复合焊接,解决了高硬质合金对滚面焊接时产生的内应力不均匀的问题,使低硬度滚面与高硬度焊接层形成稳定的晶格结构,修复焊接后的滚筒寿命达到 4440 h,大大提高了使用寿命和粉碎效率。他们采用  $\Phi 400$  粉碎机粉碎 28 目橡胶粉,台时达到 210~220 kg,吨电耗能约为 170 kWh,每吨费用约为 108 元。

4 小型节能精炼机。由再生橡胶企业与机械制造企业共同设计改进的  $\Phi 370\times 450$ 、 $\Phi 400\times 516$  线速为  $49.8\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  的低能耗精炼出片机,已用于丁基再生胶生产工艺的工业化生产。该机型与传统的  $\Phi 480\times 610$  和  $\Phi 510\times 560$  相比,其剪切速比相同,出片有效宽度达到 800mm,配置机电系统的新型变频器,其生产效率与大型精炼出片机(改进后)相同,电耗可降低 40%,滚筒每分钟的线速可在 30~60 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  之间任意调节,机台购置成本低,建议在轮胎再生胶生产中试验应用。

5 中压高温动态硫化罐。四川万成橡胶有限公司等创意的高强力轮胎再生橡胶生产工艺,颇受行业关注;淮南化工机械厂设计的容积  $3.5\text{m}^3$ 、压力 4MPa 的新型动态硫化罐已开始试应用。此外,天津化工机械厂设计的容积为  $6\text{m}^3$ ,采用 16Mn 板材的工业级脱硫罐已送交企业使用。

6 万吨级全钢子午线轮胎胶粉生产线。由四川亚联机械公司承担,四川省科委立项的年处理万吨全钢子午线轮胎粉碎生产线已进入二期设计制造和试运行阶段。该生产线在设计上突破了己有机型的参数,在中碎、细碎机结构上进行大胆创新,并采用微机全程调控的先进技术,计划今年内生产线进行连续试车生产。该公司还利用专业优势,对  $\Phi 1.5\sim 2$  的子口钢丝进行切割制成丸体,每吨售价达 4600 元,其钢丝帘线碎屑则铸成钢球,供水泥厂球磨机使用,使用该原料经每吨 1000 元费用加工后,售价可达到 6800 元,大大提高了资源利用效率和二次附加值。

## 2.2 新技术、新工艺

继二十世纪 90 年代,自主创新了高温动态工艺后,近年废橡胶综合利用产业依靠自己的力量,又研制成功两种具有自主知识产权的再生工艺。

### 2.2.1 高压剪切连续丁基再生工艺

该技术采用特殊结构的内螺旋结构,可在连续工作条件下,依赖高达 40MPa 模腔内压对丁基硫化橡胶进行再生,整个塑化历程仅需 2.5~3 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  就可使粘弹态高分子材料完成塑性态的相变过程。南通回力橡胶有限公司已获国家发改委颁发的技术创新大奖,并用于年产 2 万 t 丁基再生橡胶生产线中。该工艺除具有连续、时间短的特点外,还可适用于碳-碳交联的高刚度硫化橡胶的塑化再生并已在河北玉田实现工业化生产。

### 2.2.2 捏炼机法丁基再生工艺

该方法借鉴本伯里再生工艺的反应特点,对国产双突棱翻转式密炼机进行改进后而取得的自主知识产权。该技术主要依赖于密封上顶栓赋予突棱转子 25MPa 的压力和强制剪切完成丁基硫化橡胶的再生,丁基内胎胶仅需 10 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  塑化每吨电耗仅需 250 kWh。目前该工艺已在河北唐山中原轮胎有限公司完成年产 1.8 万 t 生产线的安装调试工作。一期(9000 t)已于今年 5 月正式投产。该公司计划明年完成与之配套的丁基内胎生产线

建设,届时将实现丁基硫化橡胶→再生→加工→成品,闭合的循环利用历程。

### 2.2.3 高还原(高强度)再生橡胶研究

继万成橡胶有限公司等企业创意高强度再生橡胶的两年时间里,为从技术上提高抗张积的还原分率,拓展全钢子午线轮胎硫化橡胶高剩余价值,国内多家企业均先后开展了“高强度再生橡胶”的研究工作。为避免知识产权无偿流失,笔者提出以下几点意见。

1. 高温动态工艺对斜交轮胎的再生还原率。我国斜交轮胎橡胶的国家标准(GB16)于二十世纪80年代标准执行半成品物理性能检测技术要求,其历史条件是轮胎胶料以天然橡胶为主。其标准规定为:拉伸强度 $\leq 18\text{MPa}$ 拉断伸长率 $\leq 470\%$ 。原化工部橡胶司1987年提出扩大合成橡胶在轮胎中使用比例的文件后,随着合成橡胶比例的扩大和国家标准与ISO标准的并轨,新的轮胎国家标准取消了对橡胶半成品的检测要求。但是,各轮胎企业仍按企业内部标准对其两项指标进行考核,但企业内控标准在轮胎企业内部是有差异的。依照近5年的统计数字,我国轮胎再生橡胶优级(精细)平均水平为 $10\sim 11\text{MPa}$ ,按轮胎企业半成品指标 $16.5\sim 17.5\text{MPa}$ 计算,其还原率仅为 $60\%\sim 68\%$ 。

2 全钢子午线轮胎橡胶部分的原始数据。1992年,全国重点轮胎企业与国外全钢子午线轮胎胎面胶拉伸强度比较见表2。

表2 拉伸强度比较

测试项目	国内1	国内2	米其林	倍耐力	邓禄普
拉伸强度/MPa	24~24.7	25~25.6	31~33	29.5~32	30.3~32

从以上拉伸强度比较可以看出,全钢子午线轮胎胎面胶均高于斜交轮胎的指标,两者比例为 $1:1.4\sim 1.88$ 。斜交轮胎与子午线轮胎的配方设计存在较大差异,后者使用的助剂品种与前者也不同,特别是轮胎整体检测指标中,抗穿刺,滚动阻力两个指标检测要求证明,子午线轮胎比斜交轮胎更需高模量的配方设计。模量递减分布为胎面>胎肩>基部胶>内层胶。若我们的再生工艺能满足其抗强积还原率 $60\%$ 的要求,使用 $25\text{MPa}$ 的胎面胶即可使再生胶获得 $15\text{MPa}$ 的拉伸强度,若达到 $68\%$ 时,则可达到 $17\text{MPa}$ 的性能。必要的再生工艺条件:①新的活化剂,使高模量硫化橡胶

得到润湿活化;②较高的环境温度,使再生助剂产生较高的浸润能力;③适合于该胶种的加工工艺。

3. 开发现状。据不完全统计,目前采用高温动态工艺使用全钢子午线轮胎胎面胶达到 $14\text{MPa}$ 的企业已有3家,达到 $15\text{MPa}$ 有一家,达到 $16\text{MPa}$ 的两家,要做的更好需要大家的共同合作,需要了解子午线轮胎的配方组成,选择对应的助剂和条件就一定能成功。

2.2.4 再生橡胶作为基础原材料再延伸加工是综合利用的方向之一

按照循环经济可持续发展的理论,当一次资源在加工过程中完成与二次资源的闭合循环,就完整了资源综合利用的定义。废橡胶经过回收→加工→成为橡胶工业和其他产业的原材料是闭合循环经济的链段,有效的拓展并延伸加工成制品。即扩大了企业自身产品的市场,又可获得再加工产生的双重效益,继南京金腾、河北丰南、北京华腾之后,河北唐山兴宇橡胶有限公司经过20年的努力,已完成了由胶粉作坊式工厂发展到年产2000再生橡胶的企业,至今可年产4万再生胶、1500万套汽车内胎、2万硫化胶粉的占地近400亩的规模型集团公司。总结其经验:不断创新是公司的动力,谦和谦逊是领导者的人格,构建企业文化是公司的基础,中高档品质,中低档价格是市场的定位,规范运作的团队是公司的环境。

2.2.5 抓住硫化胶粉在路面沥清中的应用契机,拓展胶粉产业化市场

继江阴台联、南京东浩两个硫化橡胶专业生产企业与交通厅、国家公路研究所合作开发胶粉在道路沥青改性中应用后,多个路段的实际铺敷试验,结果都是较为理想的。其使用寿命考核已超过4年,噪音降低,抗湿滑性提高。近年,随着石油沥青价格的飘升,硫化胶粉仍为廉价优质改性剂的可操作经济性越发突出。

胶粉改性沥青有两个较重要的考核指标:即熔融指标和抗离析现象的铺敷加工性能。网状体型硫化橡胶粉组分以SBR为主体时,与现行石油沥青的内聚能参数相近,具有更好的相容性。对废橡胶综合利用而言,收集废乘用车轮胎(橡胶组分以SBR为主)加工成 $30\sim 60$ 目胶粉,成本低于斜交轮胎和全钢子午线轮胎,在经济上更具有可操作性。(下转第5页)

以前,由于子午线轮胎的生产量不大,轮胎生产厂家的制造成本较高,子午线轮胎和斜交轮胎价格相差较大,用户选择斜交轮胎的关键原因就是受价格的影响。随着近年来子午线轮胎产量的增大,其价格也在回落。国内载重汽车使用的轮胎正在从斜交轮胎向子午线轮胎过渡。

目前在欧美等发达国家,载重汽车装配的轮胎均为子午线轮胎,包括子午线有内胎轮胎和子午线无内胎轮胎(以下简称无内胎轮胎),斜交轮胎已被淘汰。无内胎轮胎除舒适性好、耐磨耗和节油等上述优势外,还有安全性好和使用方便等优点。无内胎轮胎的内表面有一层厚 1.5 ~ 3.0mm 的密封层,具有较高的抗气体渗透性能,不会因发热或穿刺而立即爆胎,提高了行车安全性能;无内胎轮胎无需拆卸轮胎,就可以对轮胎进行维护和修补。今年中国重汽接到的国外订单很多用户指定装无内胎轮胎,无内胎轮胎的用量已呈上升趋势。

## 2 载重汽车轮胎的发展趋势

轮胎的断面高宽比作为轮胎的一项基本参数,对其特性影响非常大。高宽比愈小,则轮胎的侧偏角、滚动阻力、磨耗和噪声愈小,这种低断面、扁平化轮胎的高速稳定性好。整车装配这种无内胎轮胎增大了制动鼓和轮辋之间的间隙,改善了制动器的散热条件,提高了制动安全性能,同时也有利于延长轮胎寿命。随着现代工业的发展,整车各零部件设计都在倾向于人性化和轻量化设计,要求车辆操纵性能稳定、驾驶舒适和安全。无内胎轮胎是对这一整车设计理念的最好诠释。无

内胎轮胎降低了因爆胎而发生车辆事故的机率,提高了行车安全。无内胎轮胎的质量轻,可以提高整车的承载量,进一步降低车辆运行成本。无内胎轮胎的节油性能,符合当今社会发展的主题——安全、节能和环保,同时也会为用户创造更好的经济效益。

随着我国道路条件的改善,高速公路及高等级公路在我国开始普及,其中公路总里程达 192 万 km,高速公路里程达到 4.1 万 km。80% 以上的中、重型载重汽车主要在高速及高等级公路上运行,重型载重汽车已经成为物流运输的主力军。公路用载重汽车的行驶速度越来越快,对轮胎的速度和安全性能要求越来越高。另外,还有码头和港口用的特殊牵引车,该类车辆的行驶速度虽然非常慢,但对轮胎的耐磨性能要求更高。斜交轮胎已不能满足这些要求,而无内胎轮胎以优良的速度性能和安全性能正好能够符合这一要求。

据了解,在国内新建的轮胎生产厂家均全部生产子午线轮胎,而老的轮胎生产厂也在缩小斜交轮胎的产量,不断扩大子午线轮胎的生产规模,载重汽车轮胎的生产重心渐渐往子午线轮胎产品转移。载重汽车使用子午线轮胎已成为一种趋势。

目前,无内胎轮胎已经广泛的应用在轿车上,相信在不久的将来,通过汽车制造商的引导和轮胎与轮辋生产厂家的共同努力,无内胎轮胎会在载重汽车上进一步推广使用,进一步缩小和国外发达国家重型汽车之间的差距,共同推动中国汽车工业的发展。

参考文献:略

(上接第 3 页)

目前,天津公路局已与天津海泰环保科技有限公司合作,于 2007 年度内提供 5 万 胶粉改性沥青。届时,30 ~ 40 目胶粉的年需求量约为 1 万 t。这是来自地方性《胶粉改性道路沥青技术规范》出台以来,在该领域的重大突破。但从技术和市场宏观评价角度,更要求胶粉生产企业切莫只顾经济利益,使用劣质低价材料加工此种专用硫化胶粉。否则,因硫化胶粉低橡胶烃含量,影响胶粉改性沥青使用寿命和各项技术指标,将是对胶粉市场的扼杀。

## 3 科技创新的建议

废橡胶综合利用企业已基本民营化和股份制,有关部门应从科技创新法规和规划中予以确认,确认民营企业在宏观改革中的地位;确认其对社会效益和环境效益的贡献;确认并支持其技术进步的项目和资金;以保护知识产权为纽带,集中产业精英,共同开发新产品、新工艺,如:高强度再生橡胶;协调价格,稳定市场,为企业增加效益;按循环经济的总体规划,制订符合产业发展的中长期规划。