

短纤维在轮胎中的应用

许泗贵¹, 周彦豪¹, 陈福林¹, 贾德民²

(1. 广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510090; 2. 华南理工大学 材料科学与工程学院, 广东 广州 510641)

摘要: 简介短纤维-橡胶复合材料的一些特点, 重点论述短纤维在轮胎中应用的依据及其在工程越野轮胎、

载重轮胎、无销钉轮胎和高性能子午线轮胎中的应用开发情况和在实际应用中存在的一些问题, 指出我国开展这一方面工作的必要性。

关键词: 短纤维; 工程越野轮胎; 载重轮胎; 无销钉轮胎; 高性能子午线轮胎

中图分类号: T Q330. 38; T Q342⁺. 7 文献标识码: B 文章编号: 1000-890X(2001)08-0501-06

一般认为, 短纤维-橡胶复合材料(简称 SFRC)的应用研究始于 20 世纪 70 年代。1972 年, 美国孟山都公司发表了第一个专利“纤维素短纤维补强弹性体”, 并成功地将其应用于中、低压胶管等制品中^[1]。此后, 不少国家相继投入大量的人力、物力从事这方面的研究和开发, 使得 SFRC 在较短的时间内发展很快。目前, 短纤维的品种除了纤维素短纤维外, 还有尼龙、聚酯、维纶、腈纶、芳纶、丙纶、麻、丝、碳纤维^[2]、金属短纤维^[3]及胶原纤维(collagen fiber)^[4]等; 短纤维的应用范围已经覆盖了几乎所有的橡胶制品, 包括轮胎、胶管、胶带、胶鞋、密封件以及坦克履带型^[5]等。最近几年, 短纤维在轮胎中的应用研究尤为活跃, 已经应用到各种不同类型的轮胎, 包括工程越野轮胎、载重轮胎、无销钉防滑轮胎以及高性能子午线轮胎等, 其增强部位也几乎包括了轮胎的所有部位, 如胎面^[6]、胎肩^[6]、胎侧^[7]、胎体层^[8]及三角胶^[9]和内衬层^[10]等。本文将主要论述短纤维在轮胎中的应用开发情况。

1 短纤维及其制品的特点

短纤维能够在众多的橡胶制品中得到很好

的应用与短纤维本身的特点及其制品的一些特有的性能是分不开的。分析短纤维在轮胎中的应用, 首先必须清楚短纤维能够在轮胎中应用的原因和依据。为此, 首先简介短纤维及其制品的一些性能特点。

1. 1 短纤维的特点

短纤维是相对于连续的编织长纤维增强材料而言的, 一般长度为 2~5 mm, 长径比为 100~200, 经过表面预处理后可以像无机粒状填料一样直接加入橡胶基体中, 共混后采用适当的工艺进行取向即可获得最终产品。短纤维的补强性能良好, 在一定范围内甚至可以取代常用的长纤维纺织物骨架材料, 却无需复杂的加工工艺, 因而可简化生产过程, 提高自动化和连续化的程度。短纤维特殊的表面形状系数——长径比使其复合材料具有许多优异的物理性能, 同时导致其复合材料有明显的各向异性, 而这也给加工设计留下一个很大的空间等待开发。此外, 短纤维作为一种有机高分子材料, 与一般的无机填料相比, 具有密度低的优势, 并且与炭黑等填料不同, 加入少量便可使复合材料的性能发生很大的变化(炭黑的用量一般为 30~70 份, 而短纤维的用量一般在 10 份左右, 甚至更少), 这有助于节省原材料和制品轻量化。以上几点是短纤维之所以能够得到广泛应用的原因。而关于短纤维在轮胎中的应用, Naohiko Kikuchi^[11]曾经作过比较: 减小炭黑用量及胎体层厚度对降低轮胎滚动阻力和轮胎轻量化较

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59933060)

作者简介: 许泗贵(1977-)男, 福建诏安人, 广东工业大学在读硕士研究生, 主要从事聚合物改性与聚合物基复合材料方面的研究工作。

为有效,但这会导致胎面抓着性能和轮胎刚性的下降,从而给轮胎的安全性和操作稳定性带来一些消极影响,若采用其它的填料来弥补轮胎刚性的不足,则导致其刚性的增加呈各向同性,对驾驶性能和乘坐舒适性会产生不利影响;而采用短纤维可以只在取向方向上提高模量,这样既可以保证轮胎刚性,又可获得满意的乘坐舒适性。

1.2 短纤维-橡胶复合材料的性能特点

短纤维-橡胶复合材料就是指将短纤维作

为增强体分散在橡胶基质中,使之与橡胶相互复合制成类似于聚合物共混体的补强性复合材料^[14]。它能够把橡胶的柔性和短纤维的刚性很好地结合在一起,从而赋予材料高模量、高抗刺扎性、高撕裂强度以及低伸长下的高应力和各向异性等。短纤维改性的NR硫化胶的性能见表1^[13]。

从表1可以看出,短纤维的加入基本上均使定伸应力、硬度和撕裂强度有较大幅度的提高,而且随着其用量的变化在不同的取向方向

表 1 短纤维不同用量对 NR 硫化胶性能的影响

项 目	取向	用量/份				
		0	5	7.5	10	20
硫化时间(150 ℃)/min		9.00	8.75	9.75	9.00	7.50
拉伸强度/MPa	L	21.98	14.55	8.40	8.15	11.70
	T	21.21	14.32	13.04	10.76	6.99
扯断伸长率/%	L	660	515	300	250	30
	T	650	560	520	470	320
5%定伸应力/MPa	L	0.10	0.70	1.20	1.30	2.35
	T	0.10	0.18	0.35	0.50	0.55
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	L	31.1	39.8	45.2	50.9	57.5
	T	31.4	58.1	59.3	61.6	60.2
磨耗量(500圈)/cm ³		0.94	1.37	1.52	1.19	0.85
老化后性能保持率(100 ℃×48 h)/%						
拉伸强度	L	6	24	64	90	118
	T	6	17	20	27	52
撕裂强度	L	39	53	63	69	77
	T	39	44	46	55	46
扯断伸长率	L	44	18	24	32	83
	T	44	38	21	13	16

注:基本配方:NR 100,氧化锌 5,硬脂酸 2,白炭黑 5,间苯二酚 2.5,六亚甲基四胺 1.6,促进剂 CZ 0.8,硫黄 2;L为纵向取向,T为横向取向。

上呈现出不同的变化趋势;拉伸强度都较改性前低,但其大小与界面处理有很大的关系,例如,张立群等^[14]采用D法预处理的尼龙短纤维对NR改性所得到的复合材料的拉伸强度较改性前提高了17%左右;磨耗量基本上都较纯胶高,即添加短纤维后胶料的耐磨性是下降的,但也有不同的看法,认为只要取向合理,其耐磨性应该是提高的。王卫东等^[13]的研究表明,只有当短纤维沿垂直于磨耗方向(路面)排列时,短纤维才可能有效地阻止摩擦时裂纹的形成和发展,使硫化胶的耐磨性能提高;短纤维的加入使得老化后胶料的拉伸强度和撕裂强度提高;而

对于扯断伸长率,情况则较为复杂,有一个先降低后升高的趋势。短纤维-橡胶复合材料所具备的这些基本性能,可以为短纤维在轮胎中的应用提供比较直接的依据。

2 短纤维-橡胶复合材料的研究进展

短纤维在轮胎中应用的理论研究和热点最近几年主要集中在短纤维的加入对轮胎的滚动阻力、生热性及轻量化等方面的影响,这与当前轮胎的高性能化密切相关。

2.1 滚动阻力

随着汽车工业的不断发展和进步以及能

源、环保等问题的日益突出,轮胎的高性能化越来越受到重视。绿色轮胎、环保轮胎和环境友好轮胎等都是高性能轮胎的代名词,这些新型的轮胎与普通的轮胎相比,都具有一个共同的特点——非常低的滚动阻力。降低轮胎的滚动阻力可以减少车辆的燃油消耗,从而减少汽车尾气对大气环境的污染,这既具有经济价值,也有环保意义。据报道^[19],对于轿车轮胎,滚动阻力每降低 5%~7%,可节省燃料 1%;对于载重轮胎,滚动阻力每降低 2%~4%,可节省燃料 1%。由此可见,降低轮胎的滚动阻力有利于节省能源、减轻污染。

1994 年 Rijpkema B^[17] 研究发现将短纤维应用于轮胎,加入少量便可以使轮胎的滚动阻力明显降低。在实际测试中,将短纤维应用于轮胎胎面中甚至可以使滚动阻力降低 17%(相当于节省燃油 2.4%~8.5%)。Kanenari Paisuke^[18] 将 1 份原纤化短纤维(聚乙烯醇/聚丙烯腈并用比为 60/40)应用于胎面中,也使轮胎的滚动阻力明显下降。短纤维的加入对轮胎滚动阻力的影响主要有以下两个方面:(1)短纤维的加入可以提高轮胎的刚性,使得轮胎在行驶过程中承受同样载荷时下沉量明显减小,即轮胎的变形减小,因而滚动阻力也下降;(2)将短纤维用于轮胎胎面时,不仅可以提高胎面的刚性,而且可以使胎面的摩擦因数下降^[19],滚动阻力因数降低,滚动阻力也相应下降。

研究表明^[20],轮胎滚动阻力的分配为:胎面 49%;胎侧 14%;胎体 11%;胎圈 11%;带束层 8%;其余部件 7%。这表明将短纤维应用在轮胎胎面对于降低轮胎滚动阻力的影响是最为明显的。

2.2 生热性

轮胎的生热性主要是由于轮胎在行驶过程中轮胎材料的滞后损失(又称为内耗或能量损耗)所引起的。能量损耗是输入到材料中的能量没有作为应力全部释放出来所造成的,而在胶料中主要以热的形式不可逆地耗散掉,表现为胶料的温升。生热性对轮胎的影响极大,若生热性太大,温升过高,会严重影响轮胎的性能和使用寿命,特别是在高速行驶时。降低生热

已经成为载重轮胎和公共汽车轮胎的主要性能要求之一^[16]。

短纤维的加入可使胶料的生热性显著降低,而且随着取向角度的不同,其影响程度也不同,当短纤维取向方向为垂直于路面时,其硫化胶的生热性最小^[20]。在短纤维理想的取向方向上,生热性可降低 78%^[17]。短纤维的加入能够使胶料的生热性降低,主要是因为短纤维的加入可以提高胶料在低伸长下的高应力,表现为低应变下的高弹性模量,这既大大限制了胶料的变形,又大大提高了胶料的响应性,致使能耗相应下降,生热性也降低。同时,将短纤维应用于胎面可降低胎面摩擦因数,故对降低胎面摩擦生热也会起到一定的作用。

Vander pol J F^[19] 将芳族聚酰胺原纤化短纤维(浆粕)和浸渍的芳族聚酰胺短切纤维(DCF)应用于胶料中,测得的能量损耗如图 1 和 2 所示。

从图 1 和 2 可以看出,芳族聚酰胺原纤化短纤维(浆粕)对生热性的影响要比 DCF 大一些,这可能与纤维的长径比分布和取向状况有关。加入 DCF,在其径向取向的方向上(短纤维垂直于工作面),能量损耗比压延平面的能量损耗低,特别是在低载荷时更为突出,这主要是由于在径向取向的方向上,短纤维限制胶料变形的能力较大,因而能量损耗降低,生热性也降低。

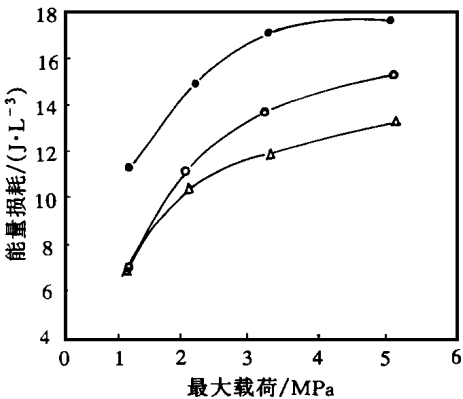


图 1 短纤维类型对能量损耗的影响

●—未加短纤维; △—加入 2 份芳族聚酰胺原纤化短纤维(浆粕); ○—加入 2 份 DCF(3 mm)。测试方向为压延平面(MD 方向)

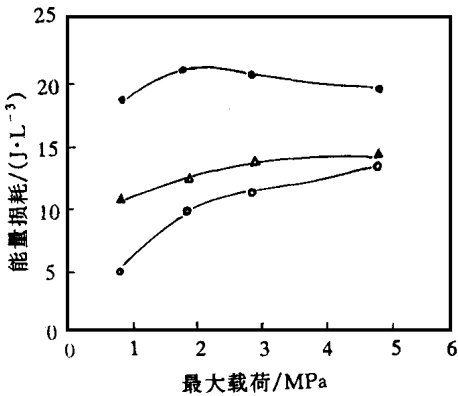


图 2 短纤维取向对能量损耗的影响

●—未加短纤维; △—MD 方向(工作面为压延平面);
○—径向(短纤维垂直于工作面); 短纤维
均为 DCF(4 mm), 用量为 5.7 份

2.3 轻量化、噪声和其它性能

轮胎的轻量化与轮胎的原材料消耗密切相关。将短纤维应用于轮胎的各个部位中,在保证原有性能的前提下,可以使原有部位的尺寸厚度减小,从而减小轮胎自身的质量。例如 Naohiko Kikuchi^[11] 将尼龙短纤维应用于轮胎的胎侧和三角胶中,可使胎侧的质量减小 40%,轻量化效果明显,且能够很好地平衡操纵性能和乘坐舒适性。Hiraho Shinichi^[7] 将 20% 的人造丝短纤维应用于胎侧,使整个轮胎的质量减小约为 7.4%。

低噪声是为适应环保要求而对轮胎提出的又一个新型性能指标。降低噪声是目前环保型轮胎的一个重要发展方向。轮胎噪声的来源包括泵气噪声、撞击声、胎面和胎侧振动的噪声以及制动转弯的噪声等。目前降低轮胎噪声的主要方法是改变胎面花纹的结构设计或对轮胎胶料进行改性。将短纤维应用于轮胎胎面及其它部位时,通过短纤维的模量和各向异性改变胶料的性能,降低轮胎行驶过程中的噪声。例如 Masake Takeo^[21] 等将 0.6 份的聚乙烯醇/纤维素醋酸酯双组分短纤维加入带束层边胶(belt edge)中,所得的轮胎具有突出的低噪声和优异的耐久性能。

将短纤维应用于胎面,虽然会使轮胎的滚动阻力下降,摩擦因数降低(一般情况下),但同时也影响到轮胎的抓着性能,特别是对湿路

面的抓着力,这给汽车的安全性带来了不利的影响,是目前短纤维在轮胎中应用的一个不利因素。针对这个问题,有人提出采用双层结构胎面的方法^[11],即外层胎面用普通胎面胶,内层用短纤维径向取向的胎面胶。此种方法避开了因胎面中短纤维直接接触地面而带来的胎面抓着性能下降等消极影响,具有一定的可行性,但加工较复杂。有关这方面的研究目前仍在进行之中。

3 短纤维在各种轮胎中的应用

3.1 工程越野轮胎²

短纤维最早在工程越野轮胎中得到应用,这也是目前短纤维在轮胎中应用所取得的效果比较显著的实例之一。由于工程越野轮胎的工作环境比较苛刻,一般是在工矿区或山地上行驶,路面状况较差,因此提高轮胎胎面的抗撕裂性能及抗崩花掉块的能力格外重要,而这正是短纤维-橡胶复合材料所具有的比较突出的性能之一。1985 年, Walker 等^[22] 将处理过的纤维素短纤维(简称 TCF)应用于轮胎胎面中,在数百条越野轮胎中进行试验,所得的试验结果见表 2。

表 2 TCF 在越野轮胎 NR 胶料中的作用

项 目	TCF 用量/份	
	0	2.5
裤形试样撕裂力/N	14.23	20.46
疲劳温升/℃	38	19
胎面花纹深度磨		
一半的时间/h	1 020	1 900
磨后胎面外观	粗糙/崩花掉块	光滑
预期寿命/h	2 000	3 600

从表 2 可以看出,加入 2.5 份的 TCF,便可大大改善胶料的抗撕裂性,降低疲劳生热量,提高胎面抗崩花掉块能力和耐磨性能,延长轮胎的使用寿命。

3.2 载重轮胎

将短纤维应用于载重轮胎,可以提高轮胎的刚性和充气压力,从而提高载重轮胎的承载能力和高速耐久性能,也可以显著降低轮胎的内部生热,这对于胎壁较厚的载重轮胎来说尤为重要。1988 年 Takahashi Shuji 等^[23] 将短碳

纤维应用于载重轮胎中, 所得的轮胎便具有较高的承载能力和高速耐久性能。其具体的做法是在轮胎的三角胶(配方为: NR 70; ESRB 30; 氧化锌 10; 抗氧剂 1; 油 5; 炭黑 70; 碳纤维 10; 硫黄 5; 促进剂 2.5)中加入短纤维。改性后三角胶的动态模量为 257 MPa (20 ℃)和 195 MPa(60 ℃), 分别比未加短纤维时高出 97.6%和 101%。采用这种三角胶的轮胎的转弯性能指数、胎圈耐用性(bead durability)及高速耐久性分别比改性前提高了 8%, 18.6%和 5.3%。由此可见, 短纤维的加入提高了三角胶的动态模量, 从而使轮胎的耐久性和承载能力得到提高。也有人将短纤维应用于载重轮胎的其它部位, 例如 Kunngi Takeshi 等²⁴⁾将 0.5 份的原纤化聚乙烯醇/乙酸纤维素应用于帘布层边胶, 经过合理的取向, 可使轮胎的模量提高, 表现出良好的高速耐久性。

3.3 防滑无销钉轮胎

目前短纤维已经成为无销钉轮胎(studless tires)生产的主要原材料之一, 这是由于将短纤维应用于胎面, 一般情况下其摩擦因数是降低的, 但在 0 ℃以下的冰面上, 其摩擦因数反而有所增加(可能与其不同的摩擦行为有关)。日本在这方面开展的研究比较多, 已经取消了冬季专用销钉轮胎的生产(据说与环保问题有关)。Ishida Hiroichi^[25]通过实验证实, 短纤维的加入可以提高胶料低温时的断裂性能, 将其应用于无销钉轮胎后, 可使其摩擦因数提高 15%。Kano Kazuhiko^[26]为了改善冰面上的轮胎抗滑性, 不仅将短纤维应用于胎面, 而且采用了胎面发泡的方法, 所得的轮胎冰面抗滑性能优异。

3.4 高性能子午线轮胎

短纤维在轮胎中应用的又一个具有深远意义的拓展是将短纤维应用于子午线轮胎。少量短纤维的加入便可赋予轮胎各种高性能, 特别是各向异性, 这是短纤维之所以备受轮胎工程设计者们青睐的主要原因。从目前的形势看, 短纤维在高性能子午线轮胎中的应用颇具潜力。许多发达国家, 特别是日本等最近几年在这方面的研究尤为活跃, 有关的专利文献报道也不少^[28~30]。从日本住友橡胶有限公司将尼

龙短纤维应用于子午线轮胎后所获得的一些性能指数(见表 3)可以看出, 轮胎的滚动阻力降低了 1.56%, 抓着性能提高了 20%, 控制响应性和舒适性分别提高了 11.1%和 3.45%, 这都是当前子午线轮胎高性能化的重要内容。

表 3 住友橡胶有限公司将短纤维应用于高性能子午线轮胎的情况^[27]

项 目	改性前	改性后
滚动阻力	64	63
抓着性能	2.5	3
控制响应性	2.7	3
舒适性	2.9	3

注: 表中数据为比较数据。基本配方: 胎面外层: SBR 85, NR 15, 炭黑 60; 胎面基层: NR 60, BR 40, 尼龙短纤维母胶(Ubepol HE0100) 15, 炭黑 15; 胎侧: NR 45, BR 55, Ubepol HE0100 15, 炭黑 20; 三角胶: NR 100, Ubepol HE0100 30, 热塑性树脂(PRI 2686) 75。

短纤维的加入虽然能够改善子午线轮胎的性能, 但在实际应用中仍然存在着有待解决的问题, 因此短纤维在高性能子午线轮胎中的应用目前仍然处于研究开发阶段。

4 有待解决的问题

将短纤维应用于轮胎中, 首先要解决的问题是因炼胶困难导致机械能耗升高所造成的成本提高。成本提高会给轮胎的销售带来很大的影响, 使短纤维在轮胎中的使用和推广受到限制。对于加工过程来说, 短纤维的加入会使胶料的流动性能变差, 特别是在开炼机炼胶时, 短纤维会严重阻碍割刀的正常进行, 甚至带来一些安全性问题。此外, 现有的加工工艺还难以使短纤维在最终产品中的分布和取向达到比较理想的状况, 而在性能表征上, 由于短纤维-橡胶复合材料的性能影响因素比较复杂, 目前仍缺乏一套简便而行之有效的表征手段。

5 我国的情况

我国在短纤维-橡胶复合材料研究应用方面起步较晚, 而将短纤维应用于轮胎就更少了, 单瑞琴^[31]和周彦豪^[32]等曾经在这方面作过一些研究和探讨, 但实际应用的例子未见报道。

我国轮胎行业总的形势是轮胎企业过于分散,规模小,技术和设备与国外的差距较大,产品以中低档次为主,价格偏低,利润也低,这是我国加入WTO后,轮胎行业所面临的一场严峻的考验。当务之急,除了加快轮胎行业的重组和调整,增强行业素质和竞争能力之外,提高技术创新和技术开发水平也十分重要。目前国外的各大轮胎公司已经纷纷推出了自己的系列高性能轮胎,如法国米其林的XSF系列、美国固特异的GFE系列以及德国大陆的EDT系列等。国内轮胎企业要在竞争中立于不败之地,必须关注全球轮胎行业动态,加大投资力度,进行技术创新。因此,开展短纤维在轮胎中的应用研究意义深远。

参考文献:

- [1] Boustany K, Coran A Y. Discontinuous cellulose reinforced elastomer[P]. USA; US 3 697 364. 1972-02-07.
- [2] 周彦豪. 短纤维-橡胶复合材料的开发应用[J]. 化工进展, 1988, (3): 18-22.
- [3] Abiko T. Anstislip structure and their manufacture[P]. JPN; JP 07 16 986. 1995-01-20.
- [4] Takino I, Kamamizu K, Komai M, *et al.* Rubber and collagen-fiber blends for studless winter tire application[J]. Rubber World 1991, 204(2): 38-43, 45, 65.
- [5] Morinaga H, Nakamura F. Rubber composites containing short fiber for tire tread[P]. Eur.; EP 940 435. 1999-09-08.
- [6] Kanenari D, Shinoda Z, Harikae S, *et al.* Pneumatic tires with balances of control stability and riding comfortability and their manufacture[P]. JPN; JP 11 334 323. 1999-12-07.
- [7] Hirano S. Light-weight pneumatic safe tire[P]. JPN; JP 11 348 512. 1999-12-21.
- [8] Aibe S, Nakakita K, Ochiai T, *et al.* Pneumatic tires having control stability and high speed durability [P]. JPN; JP 09 136 995. 1997-05-27.
- [9] Ohtani J, Kanenari K, Mama R, *et al.* Pneumatic radial tires with light weight and improved riding feel [P]. JPN; JP 11 129 711. 1999-05-18.
- [10] Ochiai T, Nakalata K, Harada M. Diene rubber compositions for pneumatic tire lining[P]. JPN; JP 09 32 247. 1997-02-04.
- [11] Naohiko K. Tires made of short fiber reinforced rubber[J]. Rubber World, 1996, 214(3): 31-32.
- [12] 周彦豪. 短纤维-橡胶复合材料及其制品研究开发的新进展[J]. 合成橡胶工业, 1998, 21(1): 1-6.
- [13] Setua D K, De S K. Short silk fiber reinforced natural rubber composites[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1983, 56(4): 808-826.
- [14] 张立群, 周彦豪, 张宇东. 尼龙和聚酯短纤维新预处理方法及其对复合材料性能的影响[J]. 橡胶工业, 1994, 41(3): 132-137.
- [15] 王卫东, 王梦蛟, 张涛. 含短纤维硫化橡胶的磨耗破坏研究[J]. 橡胶工业, 1989, 30(10): 613-615.
- [16] 陈士朝. 轮胎性能的发展和要求[J]. 橡胶工业, 1997, 44(1): 45-49.
- [17] Rijpkema B. The use of short fiber to reduce the rolling resistance of tires [J]. Plastomere Elastomere Duomere, 1994, 47(10): 748-752.
- [18] Kanenari P. Pneumatic tires having under treads containing rubbers and fibrillated short fiber for good moldability and low rolling resistance[P]. JPN; JP 11 222 012. 1999-08-17.
- [19] Vander pol J F. Short para aramid fiber reinforcement[J]. Rubber World, 1994, 210(3): 32-37.
- [20] 刘力, 张立群, 冯予星, 等. 绿色轮胎研究的进展[J]. 橡胶工业, 1999, 46(4): 245-248.
- [21] Masake T, Kanenari D, Yamakawa K, *et al.* Pneumatic radial tires containing fiber-dispersed rubber sheets with less road noise[J]. JPN; JP 11 99 806. 1999-04-13.
- [22] Walker L A, Paris W W, Harber John B, *et al.* Santoweb fiber reinforcement of rubber compounds[J]. Kautschuk Gummi Kunststoff, 1985, 38(6): 494.
- [23] Takahashi S, Tsukada S, Agari A, *et al.* Short carbon fiber-containing radial tires[P]. JPN; JP 62 299 412. 1987-12-26.
- [24] Kunngi T, Kanenari D. Pneumatic radial tires for heavy load [P]. JPN; JP 11 91 320. 1999-04-06.
- [25] Ishida H. Rubber compositions for studless tire treads[P]. JPN; JP 03 152 140. 1991-06-28.
- [26] Kano K. Pneumatic tires with ice-skid resistance[P]. JPN; JP 10 24 704. 1998-01-27.
- [27] Saito Y, Kikuchi N. Radial tires including short fibers for fuel combustion-saving car[P]. USA; US 5 526 859(CI 152-209R; B60C1/00). 1996-06-18.
- [28] Nakakita K, Harada M, Ochiai T. White sidewall-containing radial tire[P]. JPN; JP 09 111 041. 1997-04-28.
- [29] Teratani H. Pneumatic radial tires having good control stability and riding comfortability [P]. JPN; JP 10 315 717. 1998-12-02.
- [30] Harada M, Nakakita K, Ochiai T. Pneumatic radial tires [P]. JPN; JP 09 24 705. 1997-01-28.
- [31] 单瑞琴. 对含尼龙短丝或钢丝的胎面胶料性能的研究[J]. 橡胶工业, 1990, 37(8): 452-457.
- [32] 周彦豪. 国产预处理尼龙短纤维在轮胎中的应用[J]. 特种橡胶制品, 1999, 20(6): 10-12.

收稿日期: 2001-03-09