

非镶钉雪地轮胎新材料的开发

Tatsuro Hamada *et al.* 著 李军令译 涂学忠校

随着汽车大量增加和公路网的广泛发展,汽车已开始在日本国内运输系统中起关键的作用。在我们日常生活和经济活动中,汽车的作用已达到这种程度,在极苛刻的行驶条件下,必须有效和安全地行使其功能。具体地说,汽车面对最重要的挑战之一是,在寒冷的地区保证冬天驾驶安全,其原因如下:

(1)图 1(略)示出了世界北方主要城市 1 月份平均温度与降水量的关系。从中可见,在 0℃下雨变成雪。日本寒冷地区(Aomori, Rumoi, Sapporo, Asahikawa 和 Hakodate)降雪量比美国和欧洲国家多,因此,除去和融化地上所有的积雪是困难的。

(2)日本列岛山特别多,道路坡陡弯道多。

这两个日本独特的问题阻碍了完全禁用镶钉轮胎。然而当 1971 年镶钉轮胎被公开指责为一种空气的污染源时,有关这些轮胎的争论引起了公众的注意。1976 年公众关于由镶钉轮胎引起空气严重污染的意见书提交给了札幌市政府并刊登在该市报纸读者栏上。该市是日本北方最大的城市。当几个城市的市政府开始积极参与反对使用镶钉轮胎的活动时,在 1982 年前后进一步展开了争论。结果,日本从 1991 年 4 月份起,禁止使用镶钉轮胎。1991 年将作为日本从使用镶钉轮胎完全过渡到使用更利于环保的冬用轮胎的年头被人们牢记。适宜于日本独特气候和道路条件的非镶钉轮胎的冬季道路使用性能必须尽可能地接近于镶钉轮胎。因此,我们最直接的和最困难的挑战是设计一种能适应一些通常相互不能兼顾的目的的轮胎。这些目的包括冬天道路特性、环境保护和行驶安全保障等。

在实际开发非镶钉轮胎之前,我们研究了轮胎在使用中将遇到的行驶条件。

1 冰的摩擦系数

冰是地球上摩擦系数最小的固体材料之一。如图 2 所示^[1],随着冻水的环境温度升向熔点,冰的摩擦系数成比例地减小,实际上,当温度稍低于 0℃时,仅为 0.04—0.05。冰的摩擦系数低的原因如下:

(1)有限的粘附摩擦

由轮胎的附着力推导的摩擦系数可以通过剪切强度和布氏(Brinell)硬度间的比例评估。与其它材料相比,水的摩擦系数极低。这可以通过水的布氏硬度高而剪切强度比较低来解释,如表 1 所示^[2]。

(2)水润滑的影响

水在温度接近 0℃时,有在冰块表面形成水膜之趋势,从而进一步降低了摩擦系数。

水膜存在的原因如下:①由摩擦热引起冰融化;②由压力引起冰融化;③由于冻水中混入杂质使冰熔点下降;④冰表面存在假液层。

图 3 为基于 Fieth 理论的典型图^[3]。

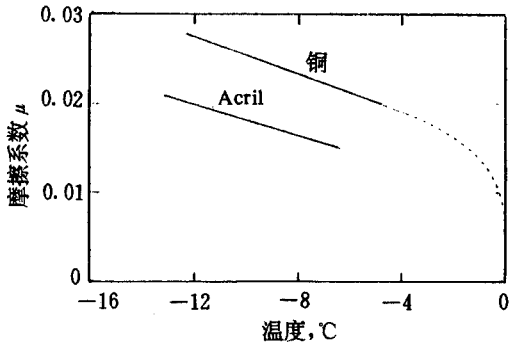


图 2 摩擦系数对温度的依赖关系

表 1 冰和其它材料的布氏硬度、剪切强度比较

材料	布氏硬度 H $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-2}$	剪切强度 S $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-2}$	摩擦系数 $\mu=S/H$
冰(-16℃)	10	0.1	0.01
钢	160	90	0.6
铜	40	16	0.4
铅	4	0.75	0.2
铟	1	0.22	0.2

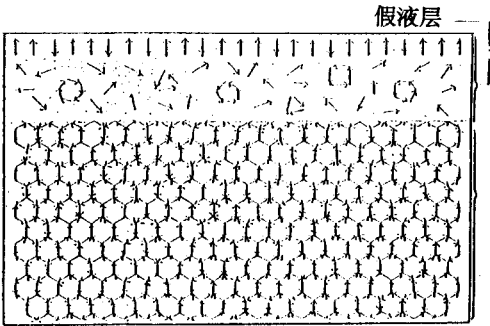


图 3 假液层

2 橡胶在冷冻表面上的摩擦系数

胎面胶和路面间的摩擦(F)包含粘附摩擦(F_a)、啃咬摩擦(F_d)和滞后摩擦(F_h)。其公式如下:

$$F = F_a + F_d + F_h$$

此外,由于路面和轮胎胶之间的液体水存在的润滑影响,路面出现冷冻面的情况下,另一因数 α 是消除润滑剂需要的功。因此,得出下列改进的公式:

$$F = \alpha(F_a + F_d + F_h)$$

测试了普通非镶钉轮胎的各种胎面花纹,并作为除水效应 α 和啃咬摩擦改善的量子进行了评估。这是改善 F 的结果。最常用的花纹是所谓镶钢片花纹(图 4)。采用这种刀槽花纹,道路与轮胎表面间的水可有效地排出,同时改善刀槽边缘的牵引效果。小心控制轮胎橡胶的粘附弹性以改善 F_a 和 F_h 。此外,通过使用较软的胶料,有可能提高 F_a ,因为 F_a 与道路和橡胶表面之间的实际接触面积(A)是成正比的。 F_h 与 $\text{tg}\delta$ 成正比。但是即

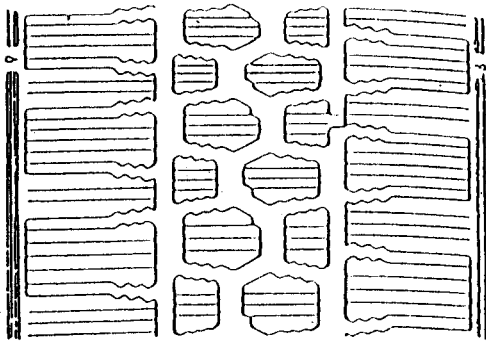


图 4 镶钢片花纹

使 $\text{tg}\delta$ 调至一较大的值,因为结冰路面比普通路面光滑,所以 F_h 的影响也是相当小的。因此,非镶钉轮胎胎面胶在低温下的粘附粘性依赖于 E' 值。图 5 示出了不同品种软化剂粘附粘性的差别。软化剂能使轮胎在低温下具有柔软的特性和高能耗,然而过度使用这种软化剂和/或刀槽花纹,会导致轮胎花纹块刚性不足。这不仅降低了在正常行驶条件下的控制性能和耐磨性能,而且会导致无法向驱动轴传递轮胎和结冰路面之间的摩擦,失去摩擦代之以轮胎花纹块变形。图 6 示出几种冬用轮胎在冰面上的摩擦系数对比。由于这些缺点,普通非镶钉轮胎在冰上的摩擦比采取上述两种措施的轮胎优越,但比镶钉轮胎差。在称为“湿冰”即-6—0℃温度范围内,这两类轮胎之间的差别特别显著。为了缩小这两类轮胎之间的差距,需要采用一种不用刀槽花纹的排水方法,同时必须增大轮胎和路面间的接触面积和啃咬摩擦。我们开发了一种新材料,以便达到这些目的。结果我们设计出一种“多孔胶料”。

3 试验

包括泡沫橡胶组分(本研究的多孔橡胶胶料)的雪地质非镶钉轮胎胎面胶料配方见表 2 和 4。这些胶料中使用的聚合物、填充剂和助剂,市场上都可以买到。

3.1 试验轮胎的制备

为了评估轮胎的性能,采用众所周知的

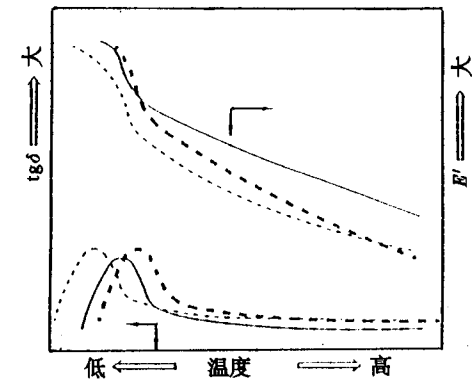


图 5 粘弹性对温度的依赖关系
——不使用软化剂;···非镶钉轮胎使用
软化剂;---使用软化剂

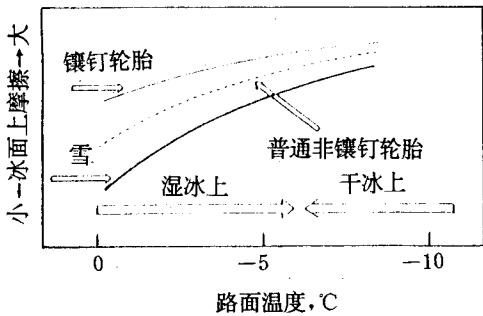


图 6 几种冬用轮胎在冰上的摩擦
系数对比

轮胎生产方法生产同一规格(如 165SR13)的试验轮胎。硫化过程中,通过胎面胶组分中所含的发泡剂活化,在胎面内形成闭孔结构。

3.2 评估试验

3.2.1 平均孔径和发泡比例

从每种样品轮胎胎面断面上裁取一试样。用 100—400 倍的显微镜拍摄试样的断面图像并测定 200 个闭孔的直径。计算测出的孔径的平均值。用下式计算胎面的泡沫比例 V_s :

$$V_s = (\rho_0 / \rho_1 - 1) \times 100(\%)$$

式中 ρ_1 ——泡沫橡胶的密度, $Mg \cdot m^{-3}$;
 ρ_0 ——泡沫橡胶实心部分的密度, $Mg \cdot m^{-3}$ 。

此实心橡胶是用同样的胶料而不使用发泡剂生产的。

表 2 胎面胶料配方 份

胎面胶料编号	N-1	N-2	N-3	N-4
NR	60	60	60	60
BR	40	40	40	40
炭黑	70	70	60	45
加工油	30	30	30	30
石蜡	2	2	2	2
硬脂酸	3	3	3	3
防老剂	1	1	1	1
氧化锌	3	3	3	3
促进剂	1	1	1	1
硫黄	1.8	1.8	1.8	1.8
发泡剂				
二亚硝-亚戊基四胺	2.5	0	0	0
脲	2.5	0	0	0

3.2.2 每 mm² 给定直径泡沫橡胶的闭孔数

按上述方法制备显微镜照片,在一给定面积(4mm²)泡沫橡胶中测定直径在 30—200μm 范围的闭孔数。从这个测出的数目中,计算出每 mm² 给定直径的闭孔数。

3.2.3 胎面表面的粗糙度及其与冰路面之间的摩擦系数

胎面表面粗糙度使用 JIS(日本工业标准)B0601 规定的表面粗糙度测量仪测量,测量的均方根(RMS)用于评估粗糙度。用 Kosaka Kenkyusho 公司生产的针形表面粗糙度测定仪测量从样品轮胎裁取的试样的粗糙度。用 Kyowa Kaimenkagaku 公司生产的动-静态摩擦测量仪测量胎面表面与冰路之间的摩擦系数。测量条件为:每个试样的外表面与约 -0.5℃ 的冰接触,位移负荷 2kg · cm⁻², 滑移速度 10mm · s⁻¹,环境温度 -2℃。

3.2.4 动态弹性模量

用 Iwamoto Seisakujo 公司生产的动态弹性模量测量仪测量试样,测量条件是:环境温度 30℃,频率 60Hz,振幅 1%。

3.2.5 耐磨性能

将样品轮胎装配于 1500cc 汽车的驱动轴上。试验车在试验道路上以一定速度行驶

一定时间后,测量每条胎面花纹沟的深度。将测量结果转换为以对比轮胎为 100 的指数。指数越大,耐磨性能越好。

3.2.6、在冰路面上的制动能力

将样品轮胎装配于 1500cc 汽车上,在-5℃的冰路面上行驶。测量每组样品轮胎车辆的制动距离。将测量结果转换成以对比轮胎为 100 的指数。指数越小,制动能力越高。

4 结果与讨论

采用表 2 列出的 N-1—N-4 配方的胶料生产 4 种样品轮胎,如表 3 所示。注意 N-2, N-3 和 N-4 是一种典型的“多孔胶料”。用显微镜拍摄从轮胎 N-a 的胎面裁取的试样的照片。如照片 1(略)所示,这种胶料由大量微孔组成。对 4 种样品轮胎进行了上述评估测试,结果列于表 3。图 7 示出了通过使用多孔结构达到降低动态模量从而改善在冰路上的摩擦系数与另一种方法(减少填充剂填充量)的比较。使用多孔结构比减少填充剂量改善摩擦系数更有效。可以得出这样的结论:轮胎表面上的微观不平整导致了摩擦系数改善程度的差异。这表明轮胎表面上的微观不平整比低温下的柔软特性更重要,它已成为普通非镶钉轮胎的开发中优先考虑的问题。第 2 个问题是,通过增加微孔数目提高表面不平整度来改善摩擦系数能达到什么程度?因此,研究了发泡剂用量的影响。表 4 列出了发泡剂不同用量的胶料配方。使用 N-5—N-12 胶料生产了 8 种样品轮胎并进行了评估试验,试验结果列于表 5。图 8 示出了胎面泡沫比例与表面粗糙度之间的相关性。如图 8 所示,泡沫比例增加时,表面粗糙度变大。这是由于单位面积泡沫橡胶直径约为 30—200μm 的闭孔的增加与泡沫成正比所致。表面粗糙度和在冰上的摩擦系数的相关性示于图 9。泡沫比例调整至 20%—30%,摩擦系数的改善可望比正常的高 3—4 倍。更具体地说,制动距离缩短 10%—15%(图 10)。这种

表 3 胎面胶性能

样胎编号	N-a	N-b	N-c	N-d
胎面胶料编号	N-1	N-2	N-3	N-4
胎面胶性能				
平均孔径,μm	30	—	—	—
泡沫比,%	20	—	—	—
直径 30—200μm 的				
闭孔数目,N·mm ⁻²	128	—	—	—
动态弹性模量 ×10 ⁷ dyn·cm ⁻²	3.8	6.3	4.8	3.2
冰路上的摩擦系数	0.038	0.02	0.024	0.029
轮胎性能				
冰路上的制动能力 ¹⁾	88	100	98	94
耐磨性 ²⁾	90	100	85	45

注:1)以 N-2 胶料的指数为 100(指数越小,轮胎的制动能力越好);2)以 N-2 胶料指数为 100(指数越大,轮胎耐磨性能越好)。

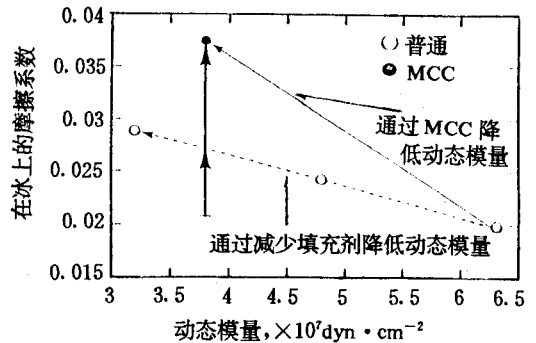


图 7 动态模量与在冰上的摩擦系数的关系

制动距离的改善是由于胶料下列 4 个主要特点所致:

- (a)胎面胶表面的大量表面坑凹由一个微孔组成。这些微孔提供连续排水的通道。此外,这些微孔阻止了刀槽间形成微水膜。
- (b)这些在胎面表面上的微观不平整度对冰表面有磨蚀作用,进而会加大啃咬摩擦(F_a)。
- (c)由于对橡胶硬度有降低作用,因此即使在低温下,轮胎也可保持足够的柔软性。
- (d)即使轮胎已磨损,由于新的微孔将不断裸露出来,因此将继续保证(a)和(b)的效应。

表 4 胎面胶料配方

份

胎面胶料编号	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12
NR	70	70	70	70	70	70	70	70
BR	30	30	30	30	30	30	30	30
炭黑	75	75	80	75	75	75	75	75
加工油	30	30	25	35	30	30	30	30
石蜡	1	1	1	1	1	1	1	1
硬脂酸	3	3	3	3	3	3	3	3
防老剂	1	1	1	1	1	1	1	1
氧化锌	3	3	3	3	3	3	3	3
促进剂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
硫黄	2	2	2	2	2	2	2	2
发泡剂								
二亚硝基-亚戊基								
四胺	0	1	1.5	1.8	2.2	2.5	3.2	2
脲	0	1	1.5	1.8	2.2	2.5	3.2	2

表 5 胎面胶性能

样胎编号	N-e	N-f	N-g	N-h	N-i	N-j	N-k	N-l
胎面胶料编号	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12
胎面胶性能								
平均孔径, μm	—	24	25	24	25	36	64	58
泡沫比, %	0	2	5	12	16	20	30	27
直径 30—200 μm								
闭孔数, $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	—	3	12	50	64	74	102	92
表面粗糙度, μm	0.5	0.6	1.5	2.1	5.9	6.8	12.5	12.7
在冰路面上的摩								
擦系数	0.015	0.016	0.02	0.037	0.049	0.051	0.056	0.055
轮胎性能								
在冰路面上的								
制动能力	100	100	98	95	92	91	85	85
耐磨性	100	100	96	90	87	85	80	94

(a),(b)和(c)的效应显著地改善了橡胶在冰上,特别是湿冰上的摩擦系数。此外,由于(c)的影响,摩擦系数得以保持。要把3种效应相互分开,并弄清楚每种效应改善湿冰上的性能的实际贡献比例几乎是不可能的。然而有可能粗略地把那些效应分为两种:来

自微孔的(a)和(b)效应及由于低温弹性特性的(c)效应。因上述机理,这些微孔保证了在结冰路面上适宜的行驶性能。

然而,胎面材料采用这种微孔胶料时,要考虑的副作用是对轮胎耐磨性能不利。为解决这个问题,必须改进胎面实心部分(不是微

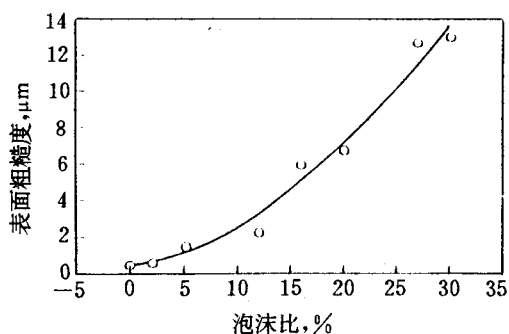


图8 泡沫比和表面粗糙度之间的关系

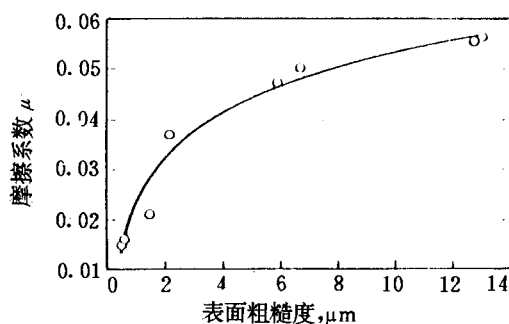


图9 表面粗糙度与冰摩擦系数之间的关系

孔橡胶)的耐磨特性。就普通非镶钉轮胎而言,为满足低温柔软特性的要求,对使用的橡胶材料比例作了严格的限制。多孔橡胶材料因其微孔而具有柔软特性。这种天然的特性使得不必要求选择高定伸应力胶料作实心胎面层的胎面胶料更为柔软。由胶料的多孔结构造成的耐磨性能下降,大部分可以通过使用高补强炭黑和减少软化剂用量来补偿(见表3)。

5 结论

这种具有许多微孔的特殊胶料,设计得可在各种轮胎性能要求之间达到可能的最佳

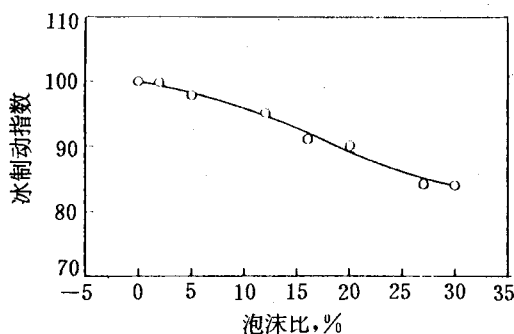


图10 泡沫比与冰制动指数的关系

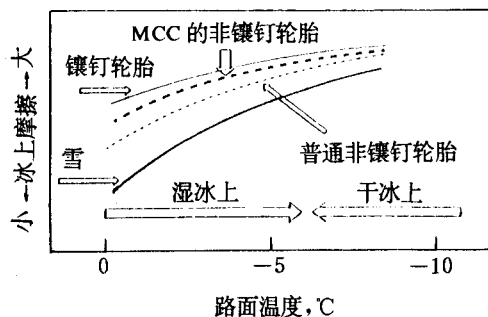


图11 多孔胶料的非镶钉轮胎与其它冬用轮胎对比

平衡。在这个意义上,它完全不同于普通的非镶钉轮胎的胶料。使用多孔胶料的非镶钉轮胎的摩擦系数与其它冬用轮胎的比较示于图11。假设镶钉轮胎在冰面上的摩擦系数为100,直到最近,使用非镶钉轮胎获得的最大值为85。然而多孔胶料的轮胎可达90。这样,在冰面上获得的摩擦系数水平几乎等于镶钉轮胎。为克服日本苛刻气候和道路条件而开发的多孔胶料,预计在美国和欧洲也能显示出极好的使用性能。

参考文献(略)

译自《美国化学学会橡胶分会1993年143次会议论文集》