

提高充气轮胎在冰雪路面上摩擦力的研究

彭旭东¹, 孟祥锐¹, 郭孔辉², 谢友柏³, 单国玲⁴

[1. 中国石油大学(华东) 机电工程学院, 山东 东营 257061; 2. 吉林大学 汽车动态模拟国家重点实验室, 吉林 长春 130025; 3. 西安交通大学 润滑理论及轴承研究所, 陕西 西安 710049; 4. 三角集团有限公司, 山东 威海 264200]

摘要:提出轮胎摩擦力被动控制和主动控制模式的观点, 分析总结影响冰雪面上橡胶和轮胎摩擦特性的主要因素, 讨论预测冬季轮胎摩擦特性的方法。为确保胎面与冰面能够紧密接触, 获得良好的冰雪路面牵引性能, 建议选择低温下具有合适模量的胎面胶和花纹饱和度。

关键词:充气轮胎; 橡胶; 摩擦力; 冰雪路面

中图分类号:U463.341 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8171(2005)07-0387-07

人们对冰面摩擦课题的研究最早可以追溯到 1829 年, Blau P J^[1] 研究了冰面摩擦对溜冰鞋和雪橇运动的影响规律。随后许多学者对在冰面上滑行的各种材料的摩擦特性进行了研究, 得出了大量有价值的结论, 并为合理选用材料提供了依据。为改善冰雪路面上行驶车辆的操纵稳定性和安全性, 许多学者已致力于研究冬用轮胎的摩擦机理和设计方法^[2~12], 这些方法主要包括胎面胶配方、胎面花纹和轮胎骨架结构的设计, 冰面上抛洒盐水和砂砾以及采用先进的主动控制技术等。本文提出了轮胎摩擦力被动控制和主动控制技术的观点, 综述了过去几年国内外有关冰雪面上橡胶和轮胎摩擦特性及其控制方法的研究成果。

1 轮胎摩擦力控制方法的分类

基于摩擦学原理和控制理论^[13,14], 将冰雪路面上轮胎摩擦力控制方法分为两类: 被动控制和主动控制, 如图 1 所示^[12]。

被动控制模式主要包括改变轮胎本体参数(例如胎面花纹、胎面胶配方和骨架结构等)以及通过在冰面或压实雪面上抛洒盐类药剂和/或砂砾来提高轮胎摩擦力的系列方法。主动控制模式

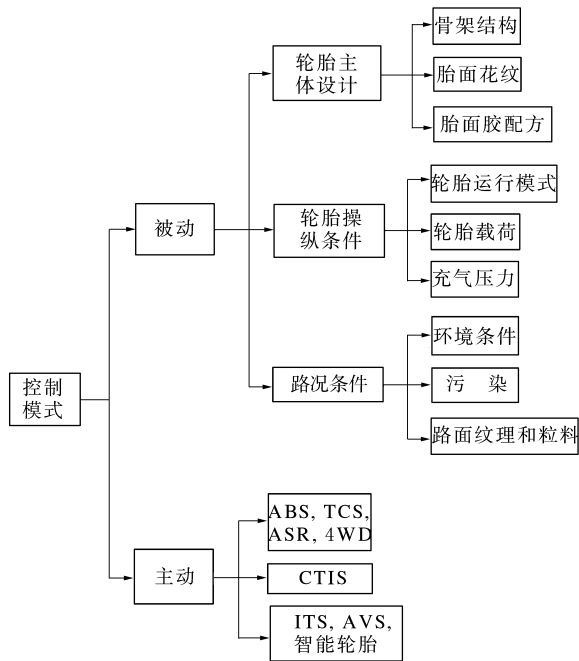


图 1 冰雪路面上轮胎摩擦力控制方法分类

主要包括配备具有电子控制系统和/或地面卫星导航系统的设备。这些设备可以安全有效地使车辆完成诸如制动、驱动和转弯等常规操作。两种控制模式的显著区别在于前者并不依赖于外力或反馈系统来改善车辆的牵引性能, 其功能是预先设定的, 不能随路况条件的改变而调节; 后者最大的优点是能够根据路况变化以及轮胎的运行状态如轮胎温升、摩擦力大小或轮胎充气压力等实时进行反馈, 从而保障车辆的操纵稳定性和安全性。

基金项目:国家自然科学基金(50275099)、山东省自然科学基金(Y2002F01)和中国博士后科研基金(2003034349)资助项目

作者简介:彭旭东(1964-), 男, 湖南益阳人, 中国石油大学(华东)教授, 博士后, 主要从事橡胶类材料摩擦学、轮胎力学和流体密封的教学与科研工作。

主动控制模式主要由闭环设备构成,特别是引入卫星导航系统以后,人类将会拥有一个全新的、更加安全的交通网络系统。

2 冰面和压实雪面上低摩擦力理论

目前主要存在两种理论用以解释冰面和压实雪面上的滑动熔化和极低的摩擦力现象,即压力熔化理论和摩擦加热理论。到目前为止,后一理论已经得到许多学者的理论和试验证明,因为滑动体的表面摩擦温升与根据摩擦熔化理论预测的结果一致。只有当温度在冰点或接近冰点时,才应或多或少地考虑压力熔化的影响^[15~18]。

3 雪地摩擦力

在积雪覆盖的路面上,特别是在压实雪路面上,轮胎摩擦力急剧下降,甚至常常低于湿路面上的摩擦力。此时,轮胎与雪之间的摩擦行为极其复杂,但其影响因素可归纳为以下三大类:轮胎参数、雪性能和操纵条件^[19]。

就轮胎自身而言,胎面胶料配方、胎面花纹设计和骨架结构是影响轮胎雪地面牵引行为的重要因素。

胎面花纹沟槽边沿的挖掘作用和雪受挤压堵塞沟槽时与其附近雪块产生的剪切作用统称为“边沿咬合”^[20]。图2示出了雪地面上轮胎的摩擦机理^[21]。轮胎接地面以粘附方式传递剪切力,剪切力随相对速度的增大而急剧减小。接地花纹块边缘至关重要。高垂直应力会使接地胶块前沿嵌入塑性雪中,这种自锁作用产生了一附加的水平分力,该分力仅在轮胎滑移率超过一定值时才起作用并趋于稳定。轮胎胶块的这种挖掘作用不仅直接提供车辆行驶所需的摩擦力,而且可使轮胎能够穿透雪层与路面产生直接接触。

King T R等^[22]用试验(从胎面上切下带细纹沟槽的胶块)研究了胎面横向沟槽空隙率对冰雪面上摩擦力的影响。通过定性分析所选各种花纹形式,得出了压实雪地上胎面空隙率对制动距离缩减率(与光面轮胎制动距离相比)的影响规律,其中空隙率与恒定深度沟槽的密度(单位面积上的沟槽数)和宽度有关。冰面和雪面上的变化规律相似。Nesbitt T R等^[23]也研究了胎面花纹

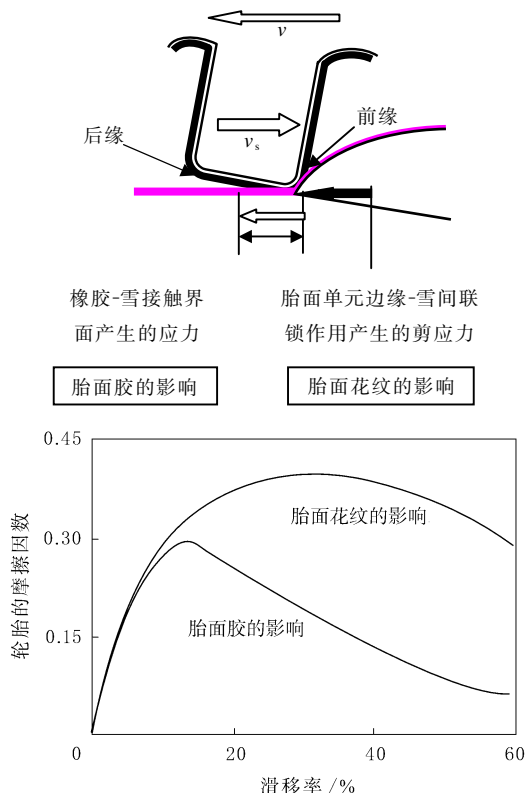


图2 雪地面上轮胎的摩擦机理

设计对雪地摩擦力的影响,并以胎面胶块几何尺寸作为变量推导出摩擦力的预测方程,为预测轮胎的雪地摩擦力提供了有效的方法。

为研究胎面花纹和胎面胶料物理性能对摩擦力的影响规律, Veith A G^[20]进行了雪地摩擦性能综合试验,结果表明:(a)横向沟槽密度比沟槽宽度或深度更重要;(b)就提高雪地摩擦力而言,主沟槽比次沟槽更有效,一般前者是后者的1~2倍;(c)雪地摩擦力与材料的 $(1/E')^{1/2}$ 和 $(1/T_g)$ 有密切关系,因此胎面胶类型对提高雪地牵引性能至关重要。同时他还指出,为保证轮胎有足够大的接地面积从而得到较高的粘附摩擦力,有必要采用低温下较柔软的胎面胶料。英国马来西亚橡胶生产者研究会(MRPRA)通过研究也得出了类似结论:除了添加填料和充油外,采用充油天然橡胶(OENR)作胎面胶对提高冰雪面上轮胎的摩擦力具有举足轻重的作用。然而,在冰面和压实雪地面上,采用常规方法单纯增加沟槽和细纹数量不一定能保证轮胎有良好的摩擦性能。目前已成功开发出一种全新的胶料,其粗糙表面布满直

径为几十微米的凹坑,能够有效排除 $10^{-10} \sim 10^{-8}$ m 厚的薄层水膜。即使轮胎受到损伤,胎面也会保持这些微小凹坑。对于无销钉轮胎,人们已经提出一种新的理论并开始将之应用于实践,即采用优质材料加强胎面以包容路面微米级的凸起。用于发泡胎面胶(含有特定设计尺寸和数量的气泡)中的加强粒子和用于无销钉轮胎的加强粒子在冰冻路面上表现出良好的摩擦特性和抗磨损性能^[8,13]。

骨架结构对雪地摩擦力的影响主要是通过胎面花纹来实现的。与斜交轮胎相比,子午线轮胎在减轻磨损方面允许有更宽的沟槽,因此子午线轮胎具有更好的雪地摩擦牵引性能。Veith A G^[20]研究了轮胎高宽比对雪地摩擦力的影响,发现当高宽比超出 0.6~0.8 范围时,轮胎摩擦力就与之无关。

雪的主要物理性能有密度、雪粒的内聚力及游离水含量。Browne A L^[19]发现,只有当雪中游离水初始质量分数超过 0.15 时,挖掘作用才显得重要。在压实程度很高的雪地上,胎面花纹块很难穿透雪层,沟槽设计对雪地抓着力几乎没有作用。Eddie R^[24]也得出了类似的结论,认为花纹沟槽深度和轮胎类型不会影响光滑冰面上轮胎的制动力。除了游离水初始含量外,雪的物理性能,如剪切强度、压缩变形特性和剪切变形特性以及污染程度等都会影响轮胎接地面上的摩擦力。温度是影响摩擦牵引性能的重要因素,在高压实率的雪路上更是如此,因为此时高温下雪的融化形成了薄层水膜,其强润滑作用造成轮胎摩擦力急剧下降。而在致密性很差的雪地上,高温使得松散雪层更容易被行驶的车辆迅速碾散^[19]。雪的其它物理性能也极易受到雪面温度的影响。

如上所述,雪地摩擦力试验不可避免地受不断变化的雪性能的影响而呈现出不稳定性,但与室外实车试验相比,室内试验所得摩擦力变化相对要小一些。室外轮胎制动性能可以通过室内试验估计得到^[18,25]。

研究摩擦力产生机理和以提高冰雪面上轮胎性能为目的来设计胎面花纹时,数值模拟不失为一种有效工具,但建立胎面花纹与雪之间相互作用的数学模型极其困难。Mundl R 等^[21]通过建

立雪的弹塑性模型,利用有限元方法(FEM)对弹性接地花纹块与非弹性变形雪间的相互作用进行了分析,得到雪地上轮胎胶块的摩擦机理数值分析结果。研究表明,除了胎面胶与雪两种材料间存在纯粘附作用以外,胶块边沿与塑性雪间的相互作用对摩擦力起决定作用。Seta E 等^[26]最近提出了预测雪地上轮胎性能的三维模型,分别用 FEM 和有限体积方法(FVM)模拟轮胎和雪,采用耦合单元计算了不同充气压力和花纹条件下滚动轮胎与雪间的相互作用力。

4 冰面摩擦力

主要回顾总结过去 20 年来橡胶类材料在冰面上的摩擦特性及其用作胎面胶料时的问题,综述影响冰面上轮胎摩擦特性的主要因素及提高轮胎牵引性能的先进技术研究进展。

4.1 冰面上橡胶类材料的摩擦

在过去的二十几年中,通过试验对橡胶-冰之间的摩擦研究已经取得了一定的进展。Roberts A D^[2,27~29]采用表面光滑的半球状透明橡胶作为试样,对冰面上滑动橡胶的摩擦机理进行了光学研究。通过橡胶可以观察到界面的摩擦情况。结果表明:橡胶在冷冰上具有很强的粘附作用,但当温度接近熔点时,粘附力和摩擦力几乎消失。图 3 示出温度为 $-32 \sim -1$ °C、滑动速度为 $10^{-6} \sim 10^{-2}$ m·s⁻¹ 时的试验结果。可以看出,冰面上橡胶的摩擦力极大地依赖于冰面温度。当速度大于 10^{-3} m·s⁻¹、温度低于 -15 °C 时,可明显观察到摩擦界面上产生了 Schallamach 波。毫无疑问,Schallamach 波的产生表明橡胶试样在冷冰面上的滑动摩擦如同在干燥玻璃面上一样,表现为分离和粘附机理,说明界面间存在很强的粘附作用。良好的粘附作用取决于界面间的相互作用和橡胶的粘弹性能。但在温度高于 -5 °C 的暖冰上,摩擦因数极小,其在很大程度上取决于冰的物理性能而不是橡胶的性能,特别是当温度接近冰点时,试样的滑动摩擦阻力几乎接近零。这种现象可能归因于冰的融化、冰面上流体物性及液膜的润滑作用(微弹流润滑)等。对摩擦界面的直接观察和对冰面上轨迹温升的测量都表明,冰的融化取决于摩擦热而不是压力融化;滑动速度越高,

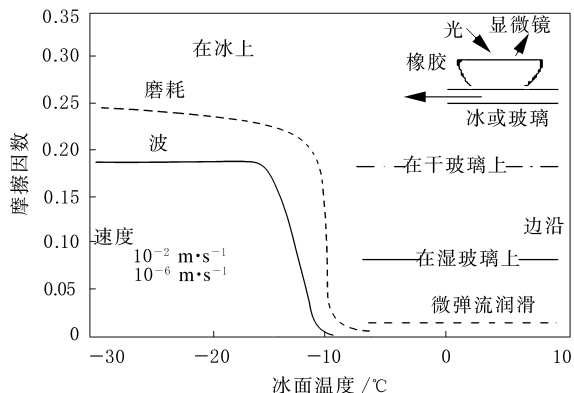


图3 橡胶在冰面和玻璃上的摩擦

产生的摩擦热越多,摩擦因数越小;当的确发生摩擦熔化时,是冰而不是橡胶决定摩擦因数的大小。

Ahagon A等^[7]利用英国摆式试验机在不同温度下测量了胎面胶在冰上的滑动阻力,认为进一步提高冰面摩擦力应保证胎面与冰面之间具有足够大的接触面积,并可以通过采用低 T_g 的胎面胶料使轮胎具有更好的弹性来实现。他们还发现,在 -8°C 时对试样滑动阻力影响较大的是胶料复合模量,而不是滞后损失($\tan\delta$)。Veith A G^[20]和 Nesbitt T R等^[23]进行了综合性冰面摩擦牵引性能试验研究,同样发现冰面摩擦力与胎面胶的模量有关,研究表明在 -13°C 下橡胶的弹性(滞后损失的倒数)对摩擦力的影响较小,该温度下回弹值与模量的影响之比为1:4。对于任意给定模量,在冰面温度大约从 -10°C 升至 $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$ (冰的结构完整性遭到破坏)时,橡胶的其它物理化学性能对冰的摩擦力影响很小。最近,Futamura S^[30]利用一系列不同粘弹性能的胎面胶料进行了橡胶-冰的摩擦试验。结果发现,当冰面温度在 $-15\sim 0^{\circ}\text{C}$ 范围内变化时,其柔量(低温模量的倒数)对冰面摩擦力的影响比滞后损失更大。虽然接近冰点的冰面看起来似乎是干燥的,但人们普遍认为其表面覆盖了一层似液体薄膜,薄膜的粘性阻力可能是决定冰面摩擦的主要因素。随着温度的升高直至冰点,水膜厚度呈指数增大。

自20世纪50年代起,为改善无防滑钉轮胎和全天候轮胎的胎面胶料性能,Roberts A D^[4,5,20,29]从OENR着手进行了大量研究工作。结果表明,增大充油量可有效降低冰雪面上轮胎的滚动阻力和磨损率,同时可保证良好的湿抓着

性能。OENR被认为是无防滑钉轮胎和全天候轮胎的重要原材料。试验结果还表明,在采用低 T_g 的胎面胶料中填充白炭黑和炭黑都可以增大微观接触面积,改善摩擦特性。

4.2 冰面上轮胎的摩擦力

目前对冰面上轮胎的试验研究主要是在冬季户外进行。冰雪覆盖的路面和冰冻的湖面被作为试验场地。冰面上轮胎摩擦的试验研究始于20世纪40年代。在过去的20多年里,人们做了大量的类似试验。

William R J^[31]在冬季对轮胎的摩擦特性进行了研究。他指出,户外冰雪环境条件的瞬息万变使得试验数据分散,很难直接进行比较。为研究白炭黑替代炭黑所起的作用,Derham C等^[32]在冰冻湖面上进行了轮胎试验,测量了在拖车牵引下轮胎抱死制动时的滑行距离,采用摆式试验机测量了湖面滑道上胶块的摩擦力。试验结果与文献[5]中所述类似。Hunter J E^[33]提供了5年内在华盛顿州西部所做的轮胎摩擦试验数据,包括冰雪路面等光滑表面上的试验数据,采用装配性能良好的冬季轮胎而无防抱死制动系统(ABS)的车辆进行试验时,发现轮胎在冰面上的摩擦因数在0.18~0.39之间变化,并且摩擦因数与所用的测量仪器或手段、制动力形式、路面污染状况和其它物理因素有关。因此,要全面了解轮胎-冰的摩擦特性是相当困难的。

最近,Eddie R^[24,34]为研究ABS系统对冰雪面上行驶的普通轮胎、全天候轮胎和冬季轮胎制动距离的影响做了大量试验。结果发现,影响制动力和摩擦力的最主要因素既不是胎面花纹设计参数,也不是胎面胶配方,而是试验过程中轮胎的温度及摩擦界面温度。另外,表面粗糙度也是重要因素之一。试验过程中,ABS系统处于待用状态时车辆操纵失控,而当ABS系统启用时车辆具有很好的操纵性。因此,ABS系统为冬季行驶的车辆提供了良好的安全保障。

虽然户外试验可以较好地模拟实际操作状况,但试验中却存在许多不可控因素,例如温度的突变、冰面的破坏及驾驶员操纵水平参差不齐等,因此有必要进行更为精确的室内试验以准确控制各种变量。在探索室内冰面上轮胎摩擦力的试验

方法上, Hayhoe G F 等^[35]、Shimizu K 等^[36~38]和 Peng X D 等^[18,39~41]走在了前列。

Hayhoe G F 等^[36]报道了抱死轮胎制动力和驱动力的试验结果, 试验在 $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰道上进行, 试验轮胎为 ASTM E524 光滑轮胎。为研究轮胎在冰雪路面上的摩擦性能, Shimizu K 等^[36~38]研制出大型转鼓试验机, 作为试验滑道的转鼓直径为 3 m , 内表面可以均匀覆盖冰层。轮胎和转鼓的转速和转矩可独立调节和测量, 因此可测试不同滑移率时的轮胎摩擦特性。他们研究了冰表面的微观纹理和宏观纹理对无销钉轮胎摩擦特性的影响, 发现在致密光滑冰面上轮胎的摩擦特性强烈依赖于冰面温度, 而在其它冰面条件下依赖性较小。他们还对不同冰面温度下无销钉轮胎的侧偏特性进行了研究。

最近, Peng X D 等^[18,39~41]研制出测试冰雪面上轮胎摩擦性能的试验平台, 平台上的冰槽可制冰也可填压天然雪。平台的运动和试验轮胎侧偏角的调整可通过液压系统来完成。对冰面温度在 $-20\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内子午线轮胎的侧偏角与侧向力因数之间的关系即侧偏特性及轮胎充气压力对侧偏特性的影响进行了研究。图 4 示出了在相同载荷 ($3\ 480\text{ N}$)、相同冰面温度 ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$) 而充气压力不同的试验结果。结果表明, 降低充气压力可有效改善冰面和压实雪地上车辆的牵引性能。

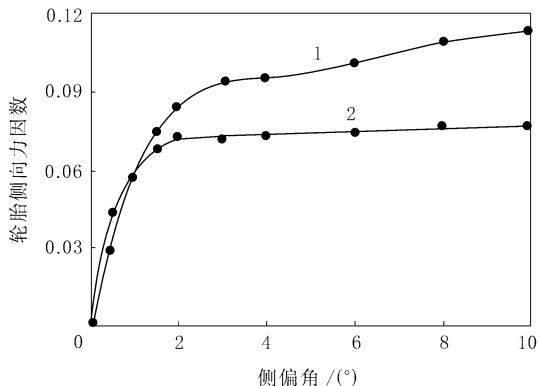


图 4 充气压力对侧向摩擦因数的影响

充气压力(MPa): 1—0.14, 2—0.25。

4.3 摩擦力模型

如文献[1~5]所述, 轮胎在户外冰面上的摩擦力受许多不可控变量的影响, 例如温度、粗糙度、胎面胶料粘弹性、由于摩擦作用而随时间变化

的冰面纹理、操作条件及试验环境等。相比之下, 室内试验更有效, 但费用高, 因此建立数学模型、进行数值模拟来预测冰雪面上轮胎的摩擦性能及研究影响摩擦性能的各种因素是非常必要的。

Oksanen P 等^[15]基于摩擦加热理论建立了一数学模型, 用以计算冰面上滑行的各种材料的摩擦力。该模型虽仅考虑了水膜的影响而忽略刮擦等其它现象, 但却表征了摩擦力与速度和垂直载荷的依赖关系。Akkok M 等^[16]提出的热控制机理在某种程度上可以解释冰的摩擦机理, 他还提出了预测摩擦温升的理论模型。分析结果表明, 不同材料在冰面上的摩擦力大小取决于垂直载荷、滑动速度、环境温度和材料的物理性能。Roberts A D^[29]通过试验证明了冰的熔化归因于摩擦生热, 并提出了摩擦界面温升的计算式。最近, Hayhoe G F 等^[35]也提出了冰面上轮胎摩擦力的预测模型。

基于力学和摩擦熔化理论, Peng X D 等^[39,40]提出了冰面上轮胎滑动摩擦因数的理论模型。与其它模型相比, 该模型的理论预测值更接近试验结果。在假设轮胎滑行时接地面冰完全熔化的条件下, Peng X D 等^[42]还讨论了表面粗糙度对轮胎摩擦力的影响。结果表明, 表面粗糙度(微观纹理)在一定条件下对轮胎摩擦力产生重要影响, 要准确预测摩擦因数就必须考虑其影响。

在以上所述模型中并没有涉及胎面花纹、表面宏观纹理和轮胎胎面胶料物性的影响。另一方面, 冰面污染对轮胎摩擦力的影响也有待进一步研究。

5 结语

冬季轮胎的摩擦性能主要受以下因素的影响: 轮胎参数、冰雪物性和操纵条件。冰面上橡胶或轮胎的摩擦力强烈依赖于冰面温度。虽然在足够低的温度下轮胎的能量损失比较大, 但当温度升高并达到冰点时却急剧下降。当轮胎在接近冰点的冰面上滑行时, 摩擦力大小主要由冰面条件而非胎面胶的粘弹性能决定。根据文献[7,20,27], 为确保胎面与冰面能够紧密接触, 获得良好的冰雪路面牵引性能, 建议选择低温下具有合适模量的胎面胶和花纹饱和度。

在当今现代化都市中已禁用带钉轮胎和抛洒盐类等药剂除冰雪,因为这样做会破坏道路、腐蚀车辆且费用很高,同时还会产生大量灰尘和污染饮用水源。由于影响城市上空的空气质量和破坏城市下水道的正常排水功能,抛洒砂砾也被禁止。因此,重点应放在开发具有优良冰雪路面摩擦性能的无钉轮胎和全天候轮胎上,并利用机械或热的新方法除冰雪以及采用先进的主动控制技术等。

参考文献:

- [1] Blau P J. Friction Science and Technology[M]. New York, USA: Marcal Dekker, 1995.
- [2] Roberts A D, Richardson J C. Interface study of rubber-ice friction[J]. Wear, 1981, 67: 55-69.
- [3] Roberts A D, Lane J D. Friction of rubber on ice in the presence of salt[J]. J. of Phys. D.: Applied Physics, 1983, 16(3): 275-285.
- [4] Roberts A D, Pitrola R, Barnes P. Influence of skim rubber on ice friction[J]. NR Technology, 1989, 20(1): 1-12.
- [5] Roberts A D. Recent studies at the Malaysian Rubber Producers' Research Association: winter and all-season tyres[J]. Tribology Int'l, 1993, 26(11): 285-292.
- [6] Sake H, Ono T, Nakazawa N, *et al.* The coefficient of friction between sea ice and various materials used in offshore structures[J]. ASME Trans., J. of Energy Resources Technol., 1986, 108: 65.
- [7] Ahagon A, Kobayashi T, Misawa M. Friction on ice[J]. Rubb. Chem. and Technol., 1988, 61(1): 14-35.
- [8] Fukuoka N. Advanced technology of the studless snow tire[J]. JSAE Review, 1994, 15(1): 59-66.
- [9] Tsushima K. Tribology of snow and ice[J]. Lubrication, 1987, 33(5): 274-277.
- [10] 彭旭东, 孟祥凯, 卢 荡, 等. 冰雪路面汽车轮胎摩擦特性研究进展[J]. 摩擦学学报, 2003, 23(5): 451-456.
- [11] Veith A G. Tire traction vs tread compound properties—how pavement texture and test conditions influence the relationship[J]. Rubb. Chem. and Technol., 1996, 69(4): 654.
- [12] 彭旭东, 雷 毅, 郭孔辉, 等. 冰雪路面上轮胎摩擦特性的控制方法研究[J]. 中国机械工程, 2001, 12(11): 1 231-1 234.
- [13] 彭旭东, 董光能, 谢友柏. 摩擦学的新思想: 摩擦学机敏结构与材料[J]. 润滑与密封, 1998(2): 2-6.
- [14] 彭旭东, 董光能, 谢友柏. 轮胎摩擦特性和胎面胶性能间关系的研究[J]. 润滑与密封, 1998(4): 12-15.
- [15] Oksanen P, Keinonen J. The mechanism of friction of ice[J]. Wear, 1982, 78: 315-324.
- [16] Akkoc M, Ettles C M, Calabrese S J. Parameters affecting the kinetic friction of ice[J]. ASME Trans., J. Tribology, 1987, 109(3): 552-561.
- [17] Colbeck S C, Najarian L, Smith H B. Sliding temperatures of ice skates[J]. Am. J. Phys., 1997, 65(6): 488-512.
- [18] Peng X D, Xie Y B, Guo K H. Study on contact melting and anti-skid technology for a tire traction on ice[J]. Chinese J. Mech. Eng., 2001, 14(3): 212-214.
- [19] Browne A L. Mechanics of Pneumatic Tires[M]. NHTSA, USA: Ed. Clark S K, 1981.
- [20] Veith A G. Rubber vs countersurface frictional behavior: how this influences the traction of pneumatic tyres[J]. Prog. Rubb. Plast. Technol., 1998, 14(1): 1-49.
- [21] Mundt R, Meschke G, Liederer W. Friction mechanism of tread blocks on snow surfaces[J]. Tire Sci. and Technol., 1997, 25(4): 245-264.
- [22] King T R, Matyja F E. Tread design effect on winter traction [Z]. SAE 810067, 1981.
- [23] Nesbitt T R, Barron D J. Prediction of driving traction performance on snow[Z]. SAE 800836, 1980.
- [24] Eddie R. Antilock brakes on snow and ice[J]. Auto. Eng., 1994, 102(4): 47-49.
- [25] Ochiai T, Hiroki E. Development of indoor tire traction test on compact snow surface[J]. JSAE Review, 1994, 15(4): 351-353.
- [26] Seta E, Kamegawa T, Nakajima Y. Prediction of snow/tire interaction using explicit FEM and FVM[J]. Tire Sci. and Technol., 2003, 31(3): 173-188.
- [27] Roberts A D. Rubber-ice friction and vehicle handling[J]. Tribology Int'l, 1981, 14(1): 14-16.
- [28] Roberts A D. Rubber-ice adhesion and friction[J]. J. Adhesion, 1981, 13(2): 77-86.
- [29] Roberts A D. Rubber friction variation with rate and temperature: some new observations[J]. J. of Phys. D.: Applied Physics, 1986, 19(4): 547-563.
- [30] Futamura S. Analysis of ice and snow traction of tread material[J]. Rubb. Chem. and Technol., 1996, 69(4): 648-653.
- [31] William R J. Tire traction testing in the winter environment [Z]. SAE 800839, 1980.
- [32] Derham C, Newell R. Use of silica for improving tread grip in winter tyres[J]. NR Technology, 1988, 19(1): 1-11.
- [33] Hunter J E. Reconstruction collisions involving ice and slippery surfaces[Z]. SAE 930896, 1993.
- [34] Eddie R. Ice, ABS and temperature[Z]. SAE 940724, 1994.
- [35] Hayhoe G F, Shapley C G. Tire force generation on ice[Z]. SAE 890028, 1989.
- [36] Shimizu K, Ikeya C. Indoor test of ice and snow tires on iced drum—development of tester and characteristics of coated ice for test[Z]. SAE 890004, 1989.
- [37] Shimizu K. Emergency braking test of the ice and snow tires

- on iced drum tester[Z]. SAE 910167,1991.
- [38] Shimizu K, Nihei M. Effect of texture of iced road surface on characteristics of ice and snow tires[Z]. SAE 920018,1992.
- [39] Peng X D, Xie Y B, Guo K H. A tire traction modeling for use in ice mobile[Z]. SAE 990478,1999.
- [40] Peng X D, Xie Y B, Guo K H. A new method for determining tires traction on ice[Z]. SAE 001640,2000.
- [41] Peng X D, Guo K H, Xie Y B. Friction of rubber and auto-

- motive tires on ice and snow[A]. International Congress of Mechanics and Tribology of Transport Systems. Rostov-On-Don, Russia; 2003-9-10~13.
- [42] Peng X D, Guo K H, Xie Y B. A mixed friction model applicable to tire traction on an icy highway[A]. The 11th International Pacific Conf. On Automotive Eng. Shanghai, China; 2001-11-6~9. IPC2001E218.

收稿日期:2005-01-21

大型工程机械轮胎供应严重短缺

中图分类号:TQ336.1 文献标识码:D

美国《橡胶与塑料新闻》2005年2月21日4页报道:

由中国、俄罗斯和印度尼西亚需求急剧增长造成的大型工程机械轮胎供应全球性严重短缺在2005年将继续下去。

由于需求爆炸性增长,世界上每一家工程机械轮胎厂都在每天24小时地满负荷运转。2004年工程机械轮胎需求同比增长20%,这一增长幅度是史无前例的,同时也出乎行业意料。

固特异认为,2004年工程机械轮胎消耗量的增长造成了其在国内外的短缺。工程机械轮胎厂甚至已不再接订单。斯巴克思商用轮胎公司总经理说,该公司每天订货电话不断,但不幸的是他们无货可供。

轮胎短缺已开始伤及采矿、建筑以及其它公司,直至其最底层的雇员。如果采矿公司因为其一些设备得不到轮胎而不得不趴窝,那么这些设备的操作人员将被辞退。

采矿业,特别是煤、铁、铜、镍和铝土矿需求的急剧增长使工程机械轮胎产能的增长跟不上要求,造成这种轮胎短缺。

工程机械轮胎需求的增长主要是中国,其次还有俄罗斯和印度尼西亚经济快速发展带来的。

在一年时间内,1 kg铜的价格从1.32美元升至3.09美元,增长了一倍多;1 kg铅的价格从0.35美元升至0.88美元。任何人都可以想象后面将发生什么事,每台可以勉强行驶已停用的车辆将重新启用,而每个可以勉强维持已关闭的矿将重新开业。

目前矿产品市场的牛市行情推动了新的矿用车辆和设备需求急剧增长。许多公司停止购置设

备已有多年,它们在等待市场行情好转。

在安排工程机械轮胎产能时,轮胎公司密切关注原配胎用户的项目规划。18个月前设备制造商预测需求仅有3%~5%的增长,而实际上民用工程机械替换胎市场增长了14%,原配胎市场增长了33%。2005年工程机械轮胎仍将全年短缺。这是一个有周期的行业,自从1999年以来一直没有增长。

采矿业是一个极难预测的行业,没人知道它什么时候、以多大的规模增长,而且即使你的预测是正确的,也不容易很快按其需求提高工程机械轮胎的生产能力。

结果是工程机械轮胎,特别是超大规格工程机械轮胎的短缺变得十分严重。例如,至少有一种轮辋直径为1.45 m的矿山载重车轮胎,某些轮胎厂每天只能生产1条。

普利司通正投资1.3亿美元将其日本防府厂小型运土机子午线轮胎的生产能力提高1倍,达到1.6万t·a⁻¹,而且扩建项目投产日期从2007年年底提前到2006年年中。

但是,在新产能投产前,各轮胎公司必须全新部署生产,首先满足合同单位的需求。普利司通和米其林都在竭尽全力满足用户的需求。

固特异在托皮卡有唯一的一家工程机械轮胎厂,它已在满负荷生产。公司将以提高生产效率的办法来扩大产量。

横滨公司说,2003年下半年工程机械替换胎的需求量增加了7万条,而2004年全年工程机械轮胎都供不应求。这与你手中有大量存货而不得不削价时的境况大不相同,2004年是令人振奋的一年,但不知道这是喜还是忧?

(涂学忠摘译)