

载重子午线轮胎静态接地影响因素的有限元分析

李文博,冯琳阁,赵长松,辛振祥*

(青岛科技大学 轮胎 RCAD 研究室,山东 青岛 266042)

摘要:应用 Abaqus/CAE 有限元分析软件模拟研究载重子午线轮胎在一定载荷下静态接地时轮胎的下沉量等负荷变形及胎面接地压力分布和 Mises 应力分布,并对轮胎静态接地性能的影响因素进行分析。结果表明,增大充气压力、胎面曲率半径和充气外直径可减小轮胎下沉量,增大胎面接地压力和 Mises 应力,提高轮胎的负荷能力。

关键词:载重子午线轮胎;下沉量;胎面曲率半径;有限元分析

中图分类号:U463.341⁺.6;O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2013)06-0338-06

随着汽车工业和道路建设的发展,人们对轮胎使用的安全、耐久和经济性能的要求越来越高。试验研究表明,负荷对轮胎的行驶里程有很大的影响。轮胎在承受超负荷情况时,下沉变形会增大,内部的钢丝帘线应力和材料剪切力都会随之增大。如果下沉量过大,还会增大轮胎的接地面积,提高生热和滚动阻力,进而影响轮胎的使用寿命。因此,研究轮胎下沉量的影响因素具有重要意义^[1]。大量研究表明,轮胎的充气压力、胎面曲率半径和充气外直径对下沉量都有一定影响,采用平坦的胎面弧度,可以达到最佳接地形状和接地压力分布,大大提高在行驶过程中的耐偏磨性能,而使用仿真软件模拟计算充气压力、胎面曲率半径和充气外直径对下沉量影响的文献还很少^[2]。

本工作以 11.00R20 全钢载重子午线轮胎为例,使用 Abaqus/CAE 软件模拟研究轮胎静态接地时下沉量的影响因素,并对接地时胎面的压力分布和 Mises 应力分布进行分析,以期为提高轮胎的使用性能提供参考。

1 建立轮胎有限元模型

通过导入 AutoCAD 中 11.00R20 全钢载重子午线轮胎的二维草图,在 Abaqus/CAE 中进行边界条件约束、网格划分(使用大变形单元),对轮

胎进行充气、轮辋过盈装配模拟。然后使用 Symmetric Model Generation 命令生成三维模型,轮辋与路面设定为解析刚体。

轮胎二维和三维模型分别如图 1 和 2 所示,其中橡胶材料单元数为 53 920 个(包括 C3D6H, C3D8H, CCL9H 和 CCL12H 单元),骨架材料单元数为 20 560 个(包括 SFM3D4R 和 SFMCL6 单元)。

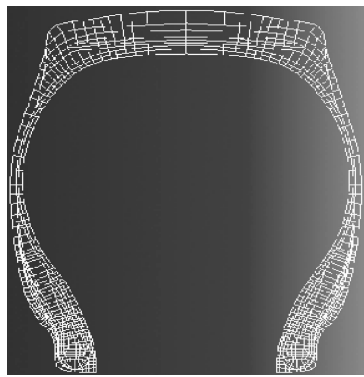


图 1 轮胎二维模型

2 轮胎下沉量理论和计算方法

2.1 下沉量(法向变形)与压缩系数

轮胎的下沉量(h_c)定义为充气轮胎断面高(H_0)与负荷下轮胎断面高(H_c)的差值。压缩率(f)是下沉量相对充气断面高的百分比,表示轮胎的径向弹性特性,是轮胎使用性能中的重要参数之一。压缩率过小表示轮胎的弹性作用发挥不良,影响轮胎的乘坐舒适性;压缩率过大则说明轮

作者简介:李文博(1988—),男,河南开封人,青岛科技大学在读硕士研究生,主要从事轮胎 CAD 研究。

* 通信联系人

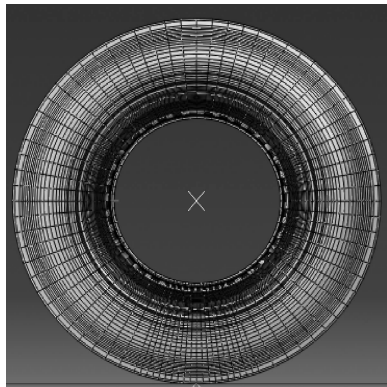


图 2 轮胎三维模型

胎在大变形下工作,会缩短轮胎的使用寿命^[3]。

2.2 Hadekel 计算公式

Hadekel 近似计算公式基于下述 2 个假设条件:①轮胎在接地面之外不产生变形;②接地面中的平均单位压力等于轮胎充气压力。

未修正的 Hadekel 公式为

$$H_c = \frac{Q}{\pi p \sqrt{2H_0 D_0}}$$

$$h_c = H_0 - H_c$$

$$f = h_c / H_0 \cdot 100\%$$

式中 Q ——轮胎负荷;

p ——轮胎充气压力;

D_0 ——轮胎充气外直径。

经过修正的 Hadekel 公式为

$$\frac{h_c}{Q} = C_1 + C_2 \frac{h_c}{p}$$

式中, C_1 和 C_2 为轮胎的设计常数,可以通过静负荷性能试验测定,与轮胎结构尺寸的关系为

$$C_2 = \frac{1}{\pi \sqrt{2R_{ni} D_0}}$$

$$C_1 = mC_2$$

式中, R_{ni} 为胎面曲率半径, m 为设计常数。

3 三维模型分析结果

11.00R20 全钢载重子午线轮胎充气外直径选取为 1 083 mm,胎面曲率半径为 518.51 mm,充气压力为标准充气压力 930 kPa,初始负荷为 35 kN。分析结果如下。

3.1 轮胎负荷变形

由于本研究定义轮辋固定,因此路面逐渐上升。轮胎负荷下变形分布如图 3 所示。从图 3

(a)可以看出,轮胎 U_3 方向(即垂直方向)下沉最大值为 33.5 mm,最大下沉量处的坐标为(0,0,541.5),即胎冠顶点。实测轮胎下沉量为 36 mm,基本与实际相符。从图 3(b)可以看出,轮胎下沉时接地部位的胎侧变形(即与周向呈 90° 方向的变形)较大,向两侧突出,最大值为 20 mm,变形数值呈现反对称分布。图 3(c)示出轮胎在 U_1 方向(即垂直于轮胎滚动轴方向)的变形量。

3.2 胎面接地压力分布

轮胎从刚开始接地到完全接地整个接地过程胎面接地压力分布的变化如图 4 所示。从图 4 可以看出,在整个过程中胎面受力都从中心到两侧对称分布,并且随着下沉量的增大,接地压力也随之变大,最大值为 1.076 MPa。

3.3 胎面 Mises 应力分布

轮胎在下沉过程中胎面的 Mises 应力变化如图 5 所示。从图 5 可以看出,轮胎在下沉过程中胎面的 Mises 应力不是均匀变化的,胎冠中心点最先受力,首先产生 Mises 应力,随着下沉量的增大,胎面中心部位的 Mises 应力增速变慢,而轮胎接地边缘的 Mises 应力快速增大,直至最后超过中心区域的应力值。这是由于轮胎两侧为自由边,因此在此处产生应力集中。

3.4 压力毯实测结果

压力毯测得的轮胎接地压力分布如图 6 所示。从图 6 可以看出,随着负荷的增大,接地面积不断增大,轮胎接地压力也随之增大。压力毯测得的压力与时间的关系如图 7 所示。从图 7 可以看出,压力毯受到的压力最终值约为 35 kN。

4 轮胎静态接地性能的影响因素分析

为了考察轮胎充气压力、胎面曲率半径和充气外直径对下沉量等接地性能的影响,制定了 A、B 和 C 三个方案,并对模型尺寸进行调整,以分析比较。

初始($R_{ni}=518.51$ mm)、减小胎面曲率半径($R_{ni}=372.87$ mm)和增大轮胎充气外直径($R=544.5$ mm)的轮胎模型分别如图 8 所示。轮胎试验条件和方案如表 1 所示,计算结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出:在固定胎面曲率半径和轮胎充气外直径的条件下,增大充气压力,轮胎下沉

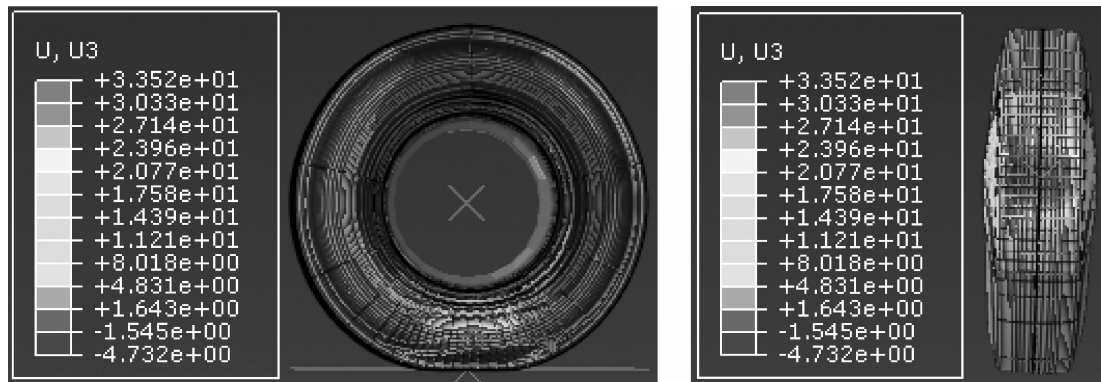
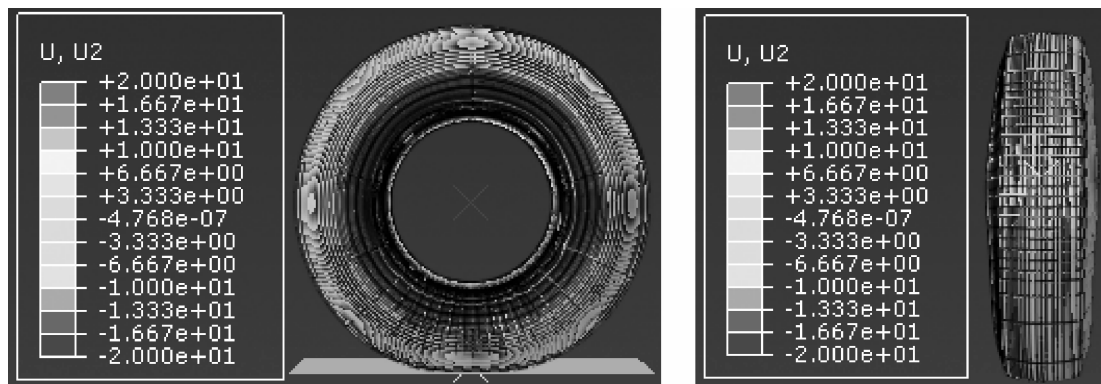
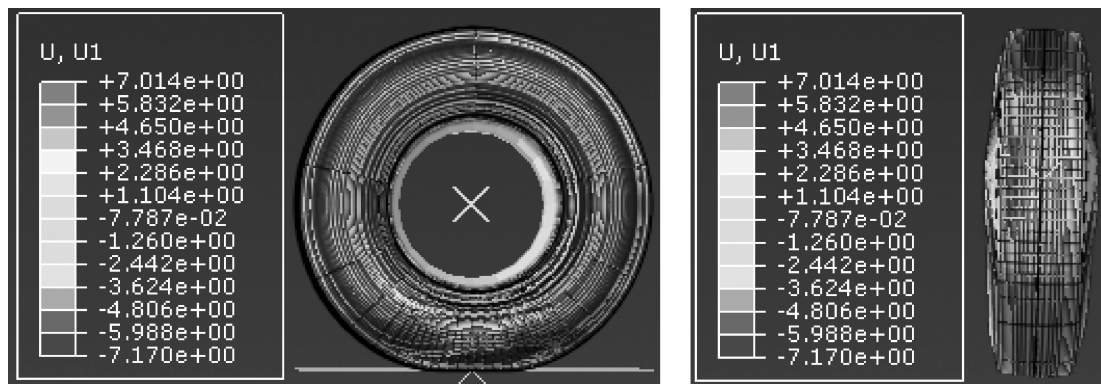
(a) U_3 方向(b) U_2 方向(c) U_1 方向

图3 轮胎负荷下变形分布

量减小,这是因为提高充气压力可以增大胎体刚性,但导致接地面积减小,使胎面受到的接地压力增大,局部受力增大使变形加剧,材料屈服程度上升,因此 Mises 应力增大;在固定充气压力和轮胎充气外直径的条件下,减小胎面曲率半径,轮胎下沉量增大,导致接地面积增大,使胎面接地压力和 Mises 应力减小;在固定充气压力和胎面曲率半径的条件下,增大充气外直径,轮胎下沉量稍有减

小,由于接地面积减小,胎面接地压力和 Mises 应力变大,但从数据可以看出,改变轮胎充气外直径对下沉量影响并不明显。

5 结语

以 11.00R20 全钢载重子午线轮胎为例,采用 Abaqus/CAE 软件对轮胎的充气装配过程进行模拟,并计算分析了轮胎静态接地整个过程中

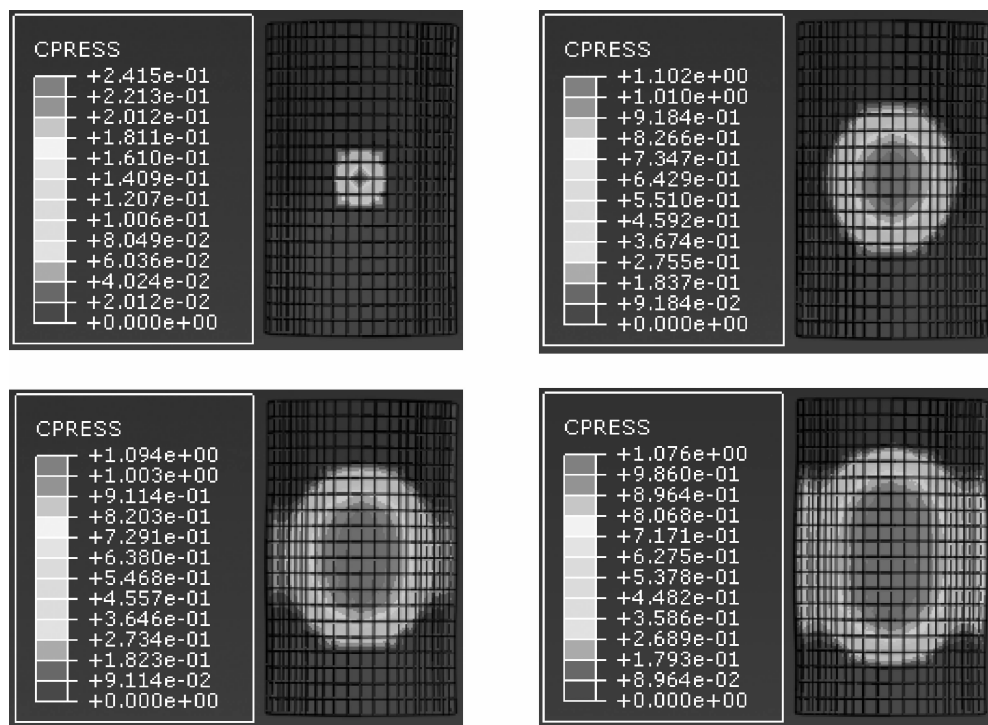


图 4 轮胎静态接地过程胎面接地压力分布

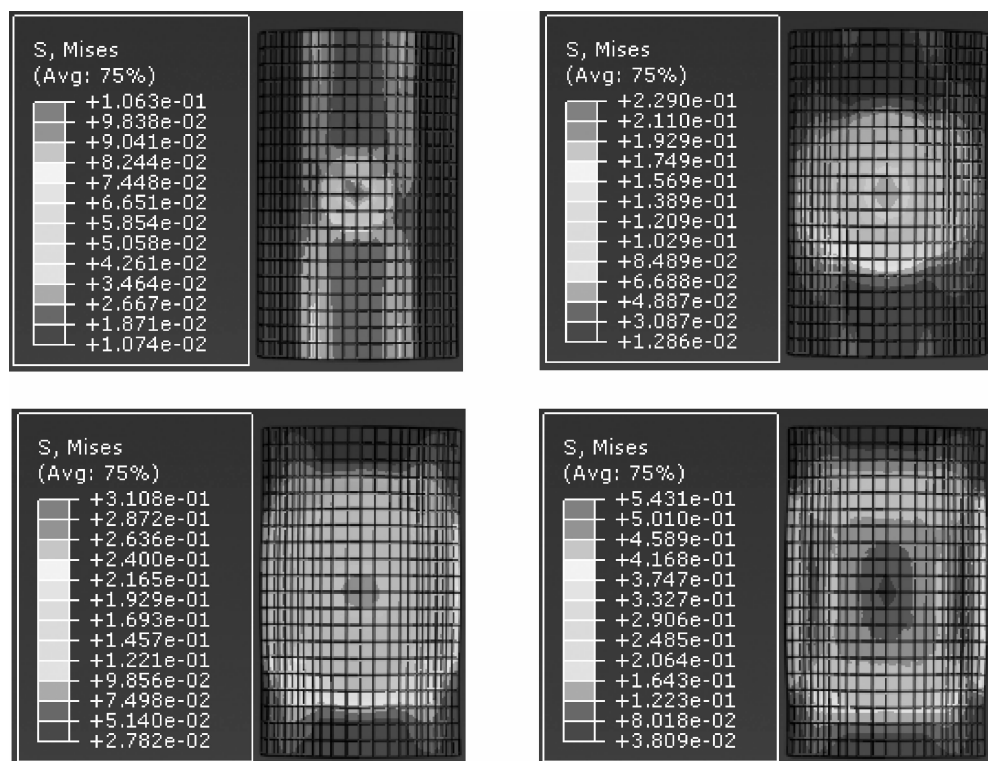


图 5 轮胎静态接地过程胎面 Mises 应力变化

胎面接地压力和 Mises 应力分布的变化。另外, 还针对充气压力、胎面曲率半径和充气外直径等

下沉量的影响因素进行了验证分析, 所得结果与实际情况基本相符合。本研究可为轮胎优化结构

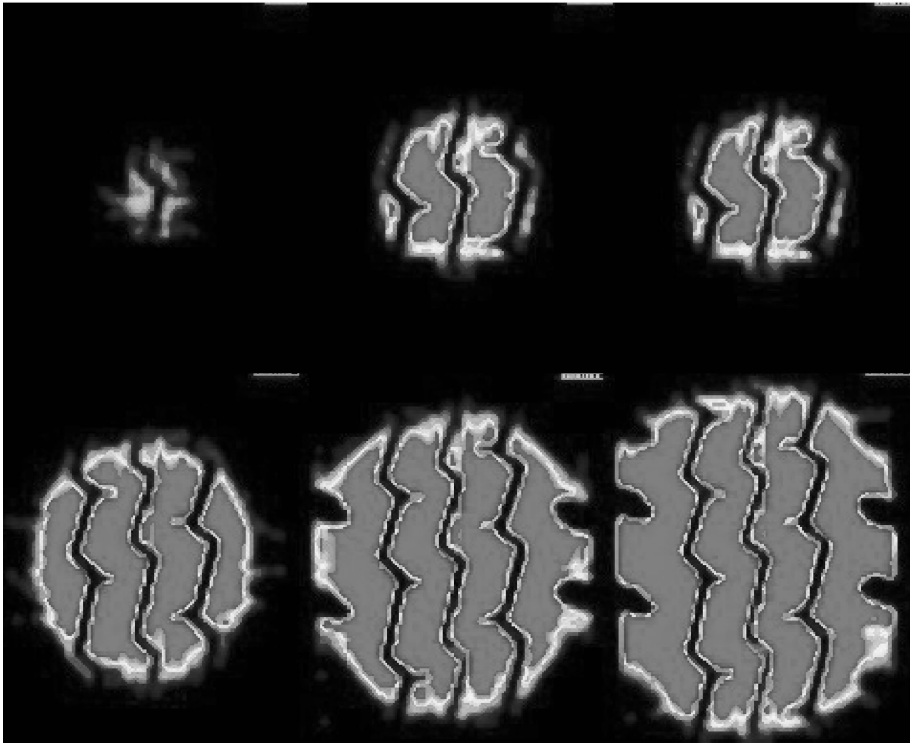


图6 压力毯测得的轮胎接地压力分布

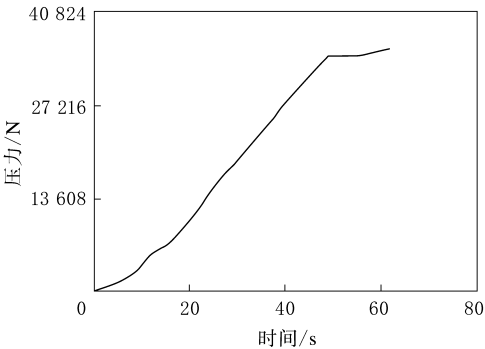


图7 压力毯测得的压力与时间的关系曲线

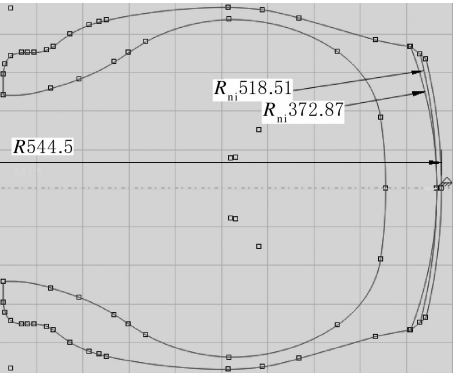


图8 不同外轮廓轮胎二维草图对比

设计提供结果预报,不仅节约试验成本,而且提高

表1 轮胎试验条件和方案

项 目	方 案			
	初始	A	B	C
充气压力/kPa	930	1 100	930	930
胎面曲率半径/mm	518.51	518.51	372.87	518.51
充气外直径/mm	1 083	1 083	1 083	1 089

注:施加载荷均为 35 kN。

表2 轮胎下沉量及受力计算结果

项 目	方 案			
	初始	A	B	C
最大下沉量/mm	33.52	30.97	35.21	33.28
最大接触压力/MPa	1.071	1.127	1.027	1.079
最大 Mises 应力/MPa	0.543	0.572	0.514	0.547

了效率。

参考文献:

[1] 俞淇,周锋,丁剑平. 充气轮胎性能与结构[M]. 广州:华南理工大学出版社,1998:17.

[2] 唐升武. 轮胎下沉量理论计算方法在结构设计中的应用[J]. 轮胎工业,2004,24(1):16-17.

[3] 辛振祥,邓涛,王伟. 现代轮胎结构设计[M]. 北京:化学工业出版社,2011:6.

Finite Element Analysis of Static Ground Contact for TBR Tire

LI Wen-bo, FENG Lin-ge, ZHAO Chang-song, XIN Zhen-xiang

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: The deformation, contact pressure distribution and Mises stress distribution of TBR tire under static ground contact were investigated by finite element analysis with Abaqus/CAE software, and the factors influencing the tire-ground contact characteristics were analyzed. The results showed that with increase of the inflation pressure, tread curvature radius and inflated peripheral dimension, the tire deformation was reduced, the contact pressure and Mises stress were increased, and the tire loading capacity was improved.

Key words: TBR tire; deformation; tread curvature radius; finite element analysis

绿色轮胎发展盼政策支持

中图分类号: TQ336.1 文献标志码: D

“推广应用绿色轮胎产品既是企业的责任,也应是全社会的共识。只有加快轮胎产业的升级,进而带动整个产业链实现绿色制造,才能推动我国从轮胎生产大国跨入强国之列。”全国人大代表、风神轮胎股份有限公司董事长王锋向全国两会提交的建议之一就是立法来推进绿色轮胎的发展。

绿色轮胎的推动起始于欧盟,主要法规包括REACH法规和轮胎标签法。这些法规的实施对于我国轮胎行业来说既是挑战,也是机遇。挑战是提高了产品的技术门槛,增加了生产成本;而机遇是有助于轮胎生产企业积极进行技术创新,规范和提升轮胎发展水平。因此,面对全球化带来的机遇和挑战,中国应该在全球化竞争中抓住机遇,把压力变成追赶的动力。值得欣喜的是,近期我国轮胎绿色制造业风生水起,很多企业也加大了技术创新的步伐。但是,我国绿色轮胎的比例还较低,相当多的企业为了应出口欧盟标准要求,在国内和出口执行两套标准。欧盟等国在使用我们生产的绿色轮胎,而我国国内却基本不用。

王锋认为,认识上的缺失是绿色轮胎不能形成市场气候的关键因素。此外,在绿色轮胎推行中,国家相关法律法规的确立和支持也很重要,如果没有硬性的法规,轮胎产品的升级就不可能提速。他建议,在产业升级、经济转型过程中,我国推广绿色轮胎应从两个方面下功夫:一方面,以法律法规的强制约束力加快推进产业升级、经济转

型,实现绿色、低碳、循环发展,提升发展的质量和效益;另一方面,由国家工信部、科技部、环保部等部委牵头,对在绿色、低碳、循环发展中敢于担当、率先行动并作出突出贡献的企业进行嘉奖,并对获奖企业给予财税政策等支持。

(摘自《中国化工报》,2013-04-02)

废旧轮胎利用准入政策落地

中图分类号: X783.3; TQ336.1 文献标志码: D

为落实《轮胎翻新行业准入条件》和《废轮胎综合利用行业准入条件》,规范废旧轮胎综合利用行业发展,2013年4月2日工信部发布了《废旧轮胎综合利用行业准入公告管理暂行办法》(以下简称《办法》),并将于2013年5月1日起施行。这意味着,备受关注的废旧轮胎综合利用行业首次有了“许可证”,准入条件真正落地。

《办法》规定,现有废旧轮胎综合利用企业以填报申请的形式来获得准入资格。综合生产能力、销售收入、产业布局情况、工艺装备、能源消耗和资源综合利用、环保设施等指标符合要求的企业,工信部将以公告的方式予以发布。

中国橡胶工业协会废橡胶综合利用分会秘书长曹庆鑫认为,这是规范我国废旧轮胎回收利用体系的必经之路,这就好比企业的生产许可证,只有达到了准入条件,才能获得生产资格。《办法》的出台将提高准入门槛,促进企业优化升级,可以有效提高资源综合利用技术和管理水平。

(摘自《中国化工报》,2013-04-08)