

提高斜交轮胎动平衡性能的措施

赵育艳,姚 亮

(贵州轮胎股份有限公司,贵州 贵阳 550008)

摘要:以 7.50 - 16 8PR 纵向花纹轻型载重斜交轮胎为例,根据其动平衡要求,通过分析、计算,找出影响轮胎动平衡的主要因素是胎面偏歪,并针对此问题对施工设计和加工工艺进行改进。改进后,轮胎的动平衡性能达到 A 和 B 级的比例为 82.35 %。

关键词:尼龙斜交轮胎;动平衡;胎面偏歪

中图分类号:U463.341+.3

文献标识码:B

文章编号:1006-8171(2001)11-0686-06

动平衡性能是轮胎重要的质量指标,动平衡不合格,轮胎高速行驶时易产生跑偏、扭摆或剧烈振动,从而对驾驶安全性和乘坐舒适性等产生不利影响。

当今轻型汽车行驶速度越来越快,对轮胎动平衡性能要求越来越高,因而普遍使用子午线轮胎,但由于价格方面的原因,一些用户希望能够使用到价格便宜且动平衡性能较好的斜交轮胎。

轮胎的动平衡性能主要取决于轮胎半成品质量分布是否均匀和对称。因此,轮胎的设计、制造和储运等环节对其均有影响。7.50 - 16 8PR 纵向花纹斜交轮胎采用水胎硫化,动平衡性能合格率较低。经过认真分析,该产品模具设计合理,花纹对称性好,断面水平轴低,有提高动平衡性能的先天因素。本研究以 7.50 - 16 8PR 斜交轮胎为例,从生产工艺角度分析影响轮胎动平衡性能的原因,以提高其动平衡性能的 A 和 B 级品率(动平衡测试以 235/80R16 轮胎为例,按美国轮胎轮辋年鉴 TRA1999 进行测试:A 级为 120 g·cm 以下,B 级为 120 ~ 170 g·cm,C 级为 170 g·cm 以上),提高企业的经济效益。

作者简介:赵育艳(1973-),女,辽宁鞍山人,贵州轮胎股份有限公司助理工程师,学士,从事全钢载重子午线轮胎技术工作。

1 动平衡原理

1.1 离心力

当物体以一定的速度绕定轴旋转时,会产生不平衡,这是离心力作用的结果^[1]。基本离心力系如图 1 所示。图 1 中质点 M (质量为 m) 绕轴心 A (半径为 r) 以恒定的角速度 ω 转动,在任意时刻,质点沿 $A-M$ 直线方向以离心力 F 向外拉定轴。其力学公式为 $F = m r \omega^2$ 。

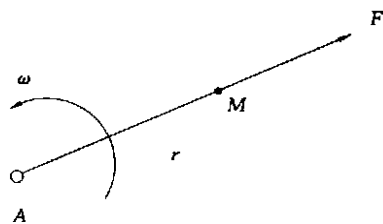


图1 离心力系示意

以同样角速度转动的多质点系(见图2),可简化为等效单一质点单一力系(见图3)。图2和3中, F_1 和 F_2 分别为质点1和2产生的离心力; F_3 为质点1和2产生的离心合力; m_1

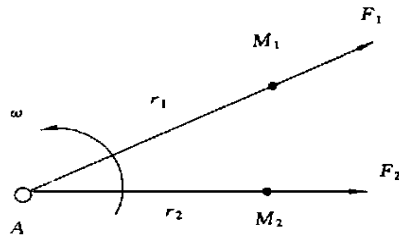


图2 多质点力系示意

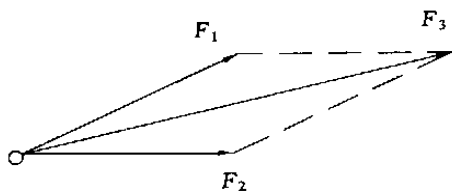


图 3 单一力系示意

和 m_2 分别为质点 1 和 2 的质量; r_1 和 r_2 为质点 1 和 2 的旋转半径; ω 为角速度。

从图 2 到图 3 的简化是将多个力按向量相加, 求出单一离心合力。单一离心合力以一定的半径围绕定轴以一定的角速度旋转, 形同单一质点围绕定轴以一定的角速度旋转。任意多个质点, 均可简化成简单的单一等效合质点。

1.2 静平衡/动平衡基本概念

静平衡或静不平衡指的是转动体作用在其定轴上的瞬时平动合力。动平衡为围绕轴自由转动的刚性体所产生的静力和力矩作用的总和。其含义为: 必须识别出沿转轴转动且符合一定要求的作用点的静力; 物体为刚性体。按上述框架, 轮胎轮辋结合件的动平衡可用图 4~6 表示。

由于 $|F_1| \neq |F_2|$, 故 $F_s = F_1 - F_2$, $M = F_1 b + F_2 e = F_c a$ 。图 6 描述了轮胎轮辋结合件的动平衡状态。静不平衡和力矩的描述, 基本

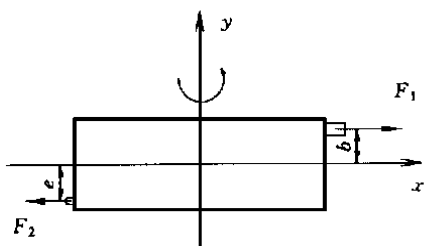


图 4 轮胎旋转示意

b —质点 1 的旋转距离; e —质点 2 的旋转距离

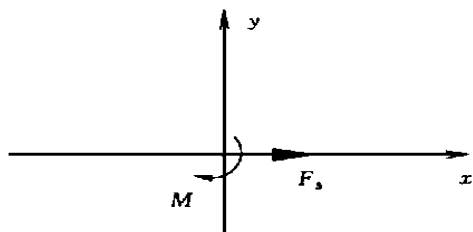


图 5 力学模型示意

F_s —静平衡力; M —动平衡力矩(力偶距)

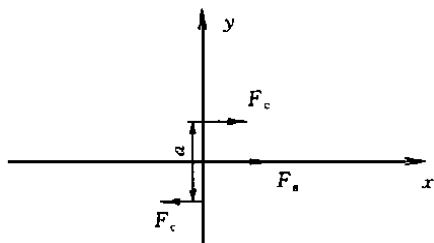


图 6 静平衡/动平衡力系示意

F_c —动平衡力; a —动平衡的旋转力偶距离

上代表了两个截然不同的、相互独立的物理现象的叠加。静不平衡的存在, 与力矩不平衡的大小无关, 反之亦然。实际上, 在自由空间基础上, 轮胎轮辋的动态特性, 可以由静不平衡作用和力偶距作用加和而成。

2 轮胎的结合利用

2.1 平面薄片的重心

如果将轮胎断面分割成不同的均匀部件的组合, 则相同部位的薄片可以认为是均匀的, 即面积密度为常量, 这样便得到均匀薄片的重心。“平面图形的面积”的计算公式^[2]:

$$A = \iint_D d\delta \quad (1)$$

式中 A ——闭区域 D 的面积;

$d\delta$ ——积分变量 $f(x)dx$ 或 $f(y)dy$ 。

“平面薄片的重心”的坐标计算公式^[3]:

$$x = \frac{1}{A} \iint_D x d\delta \quad (2)$$

$$y = \frac{1}{A} \iint_D y d\delta \quad (3)$$

式中 x ——闭区域 D 的重心的横坐标;

y ——闭区域 D 的重心的纵坐标。

此时薄片的重心完全由闭区域的形状决定。

2.2 轮胎断面曲线分析

为了接近试验状态, 在此只讨论充气轮胎在动平衡试验机上的旋转过程。当动平衡试验机主轴旋转达到匀速状态 ($d\omega' = 0$), 轮胎的变形(薄片的面积变化 $\Delta A \rightarrow 0$) 趋于稳定, 假设轮胎为刚体, 影响轮胎动平衡性能的因素为质点旋转产生的离心力。

在研究均匀薄片的重心坐标公式时,对轮胎断面进行分割使之成为不同的均匀部件的组合,以简化计算公式。将轮胎断面分割为胎面、缓冲层、胎体帘布层、钢丝圈 4 个部分。由于现有的轮胎设计未采用平衡轮廓的方法,无法得到轮胎充气状态下的内外轮廓曲线,现有数据为轮胎自然状态下(未充气)的内外轮廓曲线。在动平衡试验机上,轮胎的充气压力远远低于轮胎使用时的充气压力。根据动平衡试验机上测得数据,轮胎断面尺寸(轮胎在动平衡试验机上与自然状态下比较,其宽度增大 2%,外直径增大 0.6%)变化很小,因此,近似采用轮胎自然状态下的内外轮廓曲线代替在动平衡试验机上轮胎的内外轮廓曲线,对胎面、缓冲层、胎体骨架材料层和钢丝圈进行分段积分计算。

2.3 轮胎断面曲线的分段

轮胎断面示意图见图 7。

为了减少计算量,在此只计算由于工艺波动造成轮胎断面材料增加或减少的断面部分,

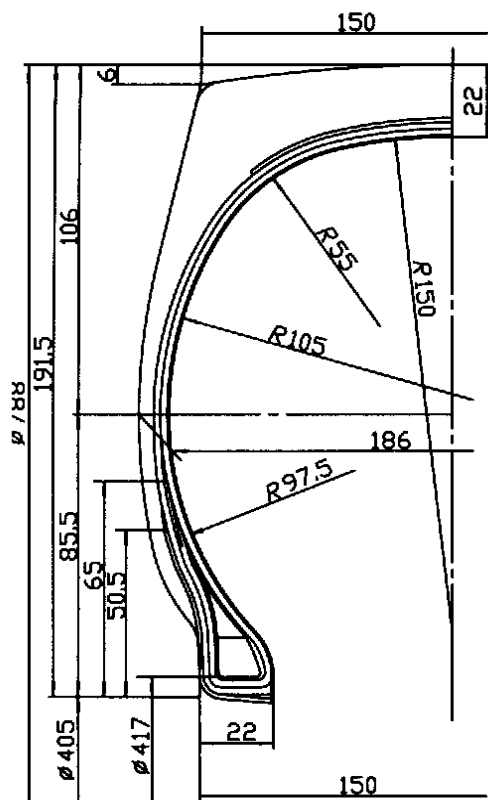


图 7 轮胎断面示意

其结果与全积分结果相同。

(1) 胎面

由于分析的轮胎为纵向花纹,花纹上下左右对称,虽然旋转时花纹沟各质点的离心力不相等,但该花纹为等节距排列,整个胎面的离心合力和合力矩为零,因此将轮胎作为光面轮胎进行考虑。对胎面积分按外轮廓圆弧不同($R_1, R_2, \dots, R_6$)进行分段,胎面的内轮廓曲线根据轮胎内轮廓曲线或外轮廓曲线的各段圆弧(圆心不变,半径增大或减小)求得曲线方程,具体方法应根据材料分布图来决定(如水平轴以下根据外轮廓曲线,水平轴以上根据内轮廓曲线)。

(2) 缓冲层

由于缓冲层为单层窄缓冲层结构,对缓冲层积分无需分段,可根据内轮廓曲线的圆弧求得缓冲层的上下曲线方程,但应在将缓冲层帘线与其覆盖胶视为整体的前提下,视缓冲层的密度是均匀的。

(3) 胎体帘布层

对胎体帘布层的分段积分比较复杂,但其偏歪主要是帘布反包部分,对未包过钢丝圈的帘布不需考虑。在此分析的轮胎的帘布贴合结构为 2-2,因此只需要考虑钢丝圈到反包帘布之间的偏歪情况。

(4) 钢丝圈

钢丝圈质量不小,但其旋转半径小,在此分析的轮胎为单钢丝圈结构,且现有的斜交轮胎成型工艺可以保证钢丝圈的偏歪很小(解剖结果证实了上述结论),因此,钢丝圈部分可忽略不计。

三角胶、钢丝圈包布、胎圈包布及钢丝圈以下材料由于旋转半径、质量和尺寸均小,由偏歪所产生的离心力很小,可对其忽略不计。对钢丝圈底部以下的材料忽略不计。

3 积分计算

由于轮胎内部材料为对称分布,从理论分析,材料分布对称的旋转物体的离心合力为零。但现有轮胎制造工艺不可能做到加工部件是完全对称的,从多次的解剖试验和以往的断面分

析中发现偏歪主要发生在胎面、缓冲层和反包帘布。轮胎成品各部件的面积密度无法测定,但成品的体积密度 η 可以测定,以成品胎面胶的体积密度 η_m 为标准,胎侧胶、缓冲层以及帘布层的体积密度 (η_t, η_h 和 η_l) 与 η_m 的比值为:

$$\eta_t / \eta_m = 1.21$$

$$\eta_h / \eta_m = 0.92$$

$$\eta_l / \eta_m = 0.95$$

假设成品胎面胶面积密度为 ρ , 则成品胎侧胶面积密度为 1.21ρ , 成品缓冲层面积密度为 0.92ρ , 成品帘布层面积密度为 0.95ρ 。

以下计算参考公式 (1) ~ (3)。计算过程涉及许多积分, 计算量很大, 可在确定了积分函数和积分上、下限后, 通过 VC++ 编程完成计算^[4]。

3.1 胎面接头部分

造成胎面部位质量不均的主要部位是胎面接头, 胎面接头易使轮胎成品冠部厚度增大, 但左右没有偏歪。冠部胎面胶厚度平均增大 0.2 cm 。由于左右无偏歪, 故重心的横坐标 $x = 0$, 纵坐标 $y = 37.02 \text{ cm}$, 冠部胎面胶厚度增加部分面积 A 为 3.13 cm^2 , 由其产生的离心力: $F_1 = m r \omega^2 = \rho A y \omega^2 = 116.0 \rho \omega^2$ 。由于胎面接头增大产生的不平衡质点的离心力的力矩为零, 但 $F_1 = F_s$, 因此胎面接头只产生静不平衡力 F_1 , 动平衡力矩为零 ($M_1 = 0$)。

3.2 胎面偏歪部分

根据解剖试验统计, 胎面偏歪时, 胎面胶的成品厚度平均增大或减小 0.2 cm , 胎侧胶的成品厚度平均增大或减小 0.06 cm , 假设材料在 x 轴正半轴为增大, 负半轴为减小, 计算结果为:

(1) 胎肩材料增加

$$A_{21} = 1.38 \text{ cm}^2$$

$$y_{21} = 33.30 \text{ cm}$$

$$x_{21} = 6.80 \text{ cm}$$

$$F_{21} = 46.0 \rho \omega^2$$

$$M_{21} = F_{21} x_{21} = 312.8 \rho \omega^2$$

(2) 胎肩材料减少

$$A_{22} = 1.29 \text{ cm}^2$$

$$y_{22} = 33.40 \text{ cm}$$

$$x_{22} = -6.74 \text{ cm}$$

$$F_{22} = 43.1 \rho \omega^2$$

$$M_{22} = F_{22} x_{22} = -290.5 \rho \omega^2$$

(3) 上胎侧材料增加

$$A_{23} = 0.33 \text{ cm}^2$$

$$y_{23} = 31.5 \text{ cm}$$

$$x_{23} = 8.33 \text{ cm}$$

$$F_{23} = 12.6 \rho \omega^2$$

$$M_{23} = F_{23} x_{23} = 105.0 \rho \omega^2$$

(4) 上胎侧材料减少

$$A_{24} = 0.33 \text{ cm}^2$$

$$y_{24} = 31.5 \text{ cm}$$

$$x_{24} = -8.39 \text{ cm}$$

$$F_{24} = 12.6 \rho \omega^2$$

$$M_{24} = F_{24} x_{24} = -105.7 \rho \omega^2$$

(5) 下胎侧材料增加

$$A_{25} = 1.52 \text{ cm}^2$$

$$y_{25} = 26.3 \text{ cm}$$

$$x_{25} = 8.94 \text{ cm}$$

$$F_{25} = 48.4 \rho \omega^2$$

$$M_{25} = F_{25} x_{25} = 432.7 \rho \omega^2$$

(6) 下胎侧材料减少

$$A_{26} = 1.82 \text{ cm}^2$$

$$y_{26} = 26.3 \text{ cm}$$

$$x_{26} = -8.91 \text{ cm}$$

$$F_{26} = 57.9 \rho \omega^2$$

$$M_{26} = F_{26} x_{26} = -515.9 \rho \omega^2$$

假设关于 x 轴的对称面是均匀的, 因为材料在 x 轴正半轴为增加, 关于原点对称的质点所作用的力矩的方向为正 (逆时针); 同理, 材料在 x 轴负半轴为减少, 关于原点对称的质点所作用的力矩的方向也为正, 因此,

$$\begin{aligned} M_2 = & |M_{21}| + |M_{22}| + |M_{23}| + |M_{24}| + \\ & |M_{25}| + |M_{26}| \\ = & 1761.6 \rho \omega^2 \end{aligned}$$

3.3 缓冲层偏歪部分

根据解剖统计, 缓冲层偏歪最大为 $\pm 2.3 \text{ cm}$, 成品缓冲层厚度平均为 0.15 cm , 假设在 x

轴正半轴为增大,负半轴为减小,计算结果为:

$M_{31} = 31.7\rho\omega^2$, $M_{32} = 23.7\rho\omega^2$ 。假设对称面是均匀的,则 $M_3 = |M_{31}| + |M_{32}| = 55.4\rho\omega^2$ 。

3.4 反包帘布偏歪部分

根据解剖统计,反包帘布偏歪最大为 ± 2.0 cm,成品胎体帘布厚度平均为 0.10 cm,假设在 x 轴正半轴为增大,负半轴为减小,计算结果为: $M_{41} = 45.9\rho\omega^2$, $M_{43} = 42.3\rho\omega^2$, $M_{42} = -43.7\rho\omega^2$, $M_{44} = -40.4\rho\omega^2$ 。假设对称面是均匀的,则 $M_4 = |M_{41}| + |M_{42}| + |M_{43}| + |M_{44}| = 172.3\rho\omega^2$ 。

4 计算结果分析

根据以上的计算结果:

$$M_1 = 0$$

$$M_2 = 1\,761.6\rho\omega^2$$

$$M_3 = 55.4\rho\omega^2$$

$$M_4 = 172.3\rho\omega^2$$

$$M_z = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 1\,989.3\rho\omega^2$$

其中 M_z 并不是所有动平衡力矩的总力矩,由于忽略了部分对动平衡影响不大的因素,为了做相对运算而采用 M_z 表示。各种原因所占的权重为:

$$M_1 / M_z \times 100\% = 0$$

$$M_2 / M_z \times 100\% = 88.5\%$$

$$M_3 / M_z \times 100\% = 2.8\%$$

$$M_4 / M_z \times 100\% = 8.7\%$$

通过比较,缓冲层偏歪和帘布反包偏歪导致的动平衡力矩分别占所有动平衡力矩的 2.8% 和 8.7% ,而胎面偏歪导致的动平衡力矩占所有动平衡力矩的 88.5% 。由此得出,影响斜交轮胎动平衡的主要因素是胎面偏歪,通过减少胎面偏歪能够提高轮胎的动平衡合格率。

按照现有斜交轮胎的设备和工艺水平全面控制所有可能存在的偏歪是不可能的,但找到关键原因,调整工艺,减少或避免关键原因的发生,可以提高轮胎的动平衡合格率。

5 工艺改进措施

针对影响动平衡的主要原因是胎面偏歪这

一情况,采取以下措施可减少胎面偏歪现象。

(1)原有的成型机中心灯光线不清晰,胎面和帘布筒成型难以准确对中。为了减少成型偏歪,改进成型机中心线灯光,由普通光源改为激光光源。

(2)为了减少帘布筒内部接头压线堆积,规定帘布贴合接头错开,拼接的帘布宽度不小于 30.0 cm。

(3)将成型由半鼓式改为半芯轮式,增大成型鼓宽度,减少胎坯定型、硫化时胎侧胶料的流动。

(4)现有的水胎定型容易偏歪,改造水胎模具,对水胎断面外直径、断面宽、肩部曲线进行相应调整。

(5)为了防止外胎排气孔溢胶修剪不彻底影响轮胎的动平衡性能,将模具花纹冠部排气孔由常规的径向改为花纹沟内横向,外胎硫化后冠部不用修剪溢胶,且外观美观。

(6)为了减少胎体帘布偏歪,减小正包帘布和反包帘布宽度,使正包帘布刚好包到钢丝圈,反包帘布刚好包到成型鼓鼓肩切线处。由于位置明显,迫使成型工序必须精工细做,提高了成型质量。

(7)由于采用胎面套筒法成型,胎面偏歪较大,而且周向厚度不均匀,对轮胎的动平衡影响最大,因此胎面改用层贴法成型,成型时要求准确对中,胎面厚薄保持一致。

(8)胎面裁断精确定长,严格执行胎面停放时间,以减少胎面成型时的拉伸。

(9)为了减少冠部胎面胶料在硫化时的流动,根据轮胎成品几何尺寸,将原胎面几何尺寸做相应的调整(见图8)。

(10)成型好的胎坯立即上架单层摆放,定型后的胎坯充气停放 $30 \sim 60$ min。成品外胎入库后充气上架单层立放。

6 结语

对影响 $7.50 - 16$ 8PR 斜交轮胎动平衡性能的因素建立近似力学模型,通过计算,找出影响轮胎动平衡性能的主要原因,进行分析,改进工艺措施,并加以严格控制,逐步提高该产品的

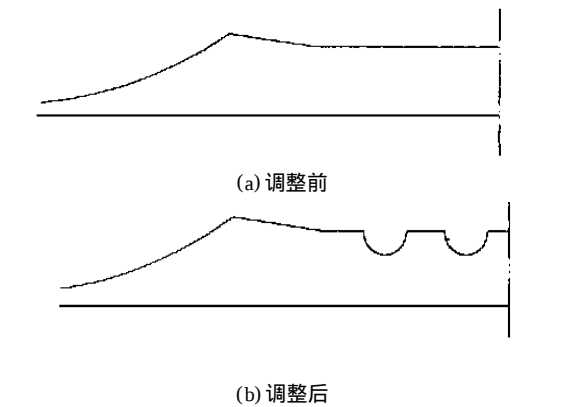


图 8 胎面断面示意

动平衡合格率。
通过对改进后生产的近万条 7.50 - 16

8PR 纵向花纹轮胎进行测试,结果表明,动平衡达到 A,B 级品率的轮胎达 82.35 %,处于较高水平。同时增大了企业的经济效益。

参考文献:

[1] 程守洙,江之永. 普通物理学,第一册[M]. 北京:高等教育出版社,1988. 120-143.
[2] 同济大学数学教研室. 高等数学(第 3 版),上册[M]. 北京:高等教育出版社,1988. 338-344.
[3] 同济大学数学教研室. 高等数学(第 3 版),下册[M]. 北京:高等教育出版社,1988. 128-130.
[4] 康博创作室. Visual C++ 6.0 程序设计自学教程[M]. 北京:清华大学出版社,1999.

收稿日期:2001-05-13

(上接第 661 页)

汽(蒸汽/ 氮气)硫化的控制。
外硫化介质用的阀门及配管:对左右两个模腔的上下热板、活络模夹套进行加热控制。

3.2 项目实施进度及生产计划

(1)项目实施进度

本项目建设周期为 3 年,计划于 1999 年开始,2002 年达到生产规模。

(2)项目生产计划

1999 年上半年项目立项,开发研制 PC-43/300C 型液压硫化机,1999 年下半年生产出第 1 台样机,在用户处调试及试生产半年,2000 年初通过部级鉴定;2000 年批量生产一组(5 台) PC-43/300C 型液压硫化机,并同时进行 PC-46/385C 型样机的研制,争取 2000 年年底生产出样机;2001 年上半年 PC-46/385C 型样机通过部级鉴定,并批量生产一组(5 台) PC-46/385C 型液压硫化机及批量生产两组(10 台) PC-43/300C 型液压硫化机;2002 年达到生产规模。

3.3 社会经济效益评价

本项目达到生产规模后社会经济效益评价见表 5。

4 结论

在国家计委和科技部于 1999 年 7 月 14 日

表 5 社会经济效益评价

项 目	数值	备注
总投资/ 万元	1 664	
股东投资额/ 万元	1 134	含留存收益
长期借贷/ 万元	400	技改贷款
短期借贷/ 万元	130	流动资金
股东净投资额/ 万元	807	
年平均销售收入/ 万元	4 050	达到规模生产后
年平均销售税及附加税/ 万元	445.5	
年平均利润总额/ 万元	420.6	
年平均所得税/ 万元	71.5	所得税按 17 %税率
年平均税后利润总额/ 万元	249	2003 ~ 2005 年
投资利润率/ %	15	
投资利税率/ %	26.8	
资本金利润率/ %	43.3	
技改贷款偿还期/ 年	2	2003 和 2004 年
净收益与净销售比率/ %	8.6	
全部投资回收期/ 年	5.91	从 2003 年开始计算
资本保值增值率/ %	223	到 2006 年年末

发布《当前国家优先发展的高科技产业化重点领域指南(目录)》中共列入 138 项国家优先发展的高技术产业,其中第 100 项为子午线轮胎生产技术及关键设备和原材料,液压硫化机作为高档子午线轮胎硫化的关键工艺设备符合国家产业重点发展政策。经本研究论证,当前我国轮胎及橡胶业联合研制轿车子午线轮胎液压硫化机符合国家产业政策,选型合理,技术起点高,产品销路广阔,投资效果好,社会效益显著。

收稿日期:2001-05-11