

轮胎复合材料力学性质的实验研究

刘 勇, 杨 卫民
(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 测定了子午线轮胎复合材料(胎体帘布层、锦纶带束层、钢丝带束层和冠带层)中的杨氏模量、泊松比和密度, 并通过对所得数据进行理论分析得知, 复合材料的力学性质介于线性和非线性之间, 在小变形范围内, 钢丝和纤维帘线是线性的, 而橡胶则呈现明显的非线性; 在大变形范围内, 胎体帘布层、锦纶带束层、钢丝带束层和冠带层等复合材料均呈现非线性。

关键词: 子午线轮胎; 力学性质; 复合材料

中图分类号: U463. 341⁺. 6; T Q336. 1⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-890X(2002)05-0261-06

在轮胎设计和性能仿真时, 轮胎材料的力学性质参数非常重要, 但由于这些数据很难测得, 出于保密原因, 国内外文献中很少有直接介绍各种轮胎材料物理性能数据的^[1~9]。本文介绍我们在轮胎复合材料力学性质的实验研究中所测得胎体帘布层、锦纶带束层、冠带层和钢丝带束层的杨氏模量、泊松比(或剪切模量)和密度, 并对之进行理论分析, 为子午线轮胎的结构设计和性能仿真提供了重要数据。

1 轮胎的复合材料

轮胎由多种材料组成, 基本材料可分 3 类: 橡胶、纤维和钢丝^[7]。由两种或两种以上的基本材料组合成的结构材料称为复合材料, 例如由钢丝和橡胶构成的钢丝带束层, 由帘线和橡胶构成的胎体帘布层等。本实验研究的子午线轮胎在其断面结构的不同部位采用了 11 种材料, 如图 1 所示。

2 试验测量和分析

弹性模量是发生单位应变时的应力, 它表征材料抵抗变形能力的大小, 模量愈大, 愈不容易变形, 材料刚性愈大^[8]。根据受力不同, 弹性模量

又分为杨氏模量、切变模量和体积模量。在橡胶材料力学性质研究中, 最常用的是杨氏模量。

2.1 杨氏模量

2.1.1 试验的基本条件

测试仪器: 美国 Instron 公司生产的 IX 型自动材料测试仪。

环境条件: 湿度 50%; 温度 23 ℃。

试样尺寸见表 1。

2.1.2 测量结果与分析

2.1.2.1 胎体帘布

在胎体帘布的杨氏模量测量中所得的帘线角度分别为 0, 30, 60 和 90° 的 4 组 12 个试样的应力-应变曲线分别见图 2~5, 并与刚性材料铸铁的应力-应变关系曲线(见图 6)和高弹性材料 NR 的应力-应变关系曲线(见图 7)进行对比分析。胎体帘布应力-应变关系及其杨氏模量的测量结果分别见表 2 和 3。

从图 2 可以看出, 在胎体帘布这种纤维与橡胶的复合材料中, 当沿着纤维排列的主方向拉伸时, 主要表现为帘线的力学性质, 曲线较光滑, 应变不超过 50%, 其变形规律是近似线性的。这主要是由于帘线的杨氏模量比橡胶材料的杨氏模量大得多, 可以大大提高复合材料的强度, 这也是选用帘布作为轮胎主体材料的原因。

从图 5 中可以看出, 当沿着与纤维排列的主方向呈 90° 的方向拉伸时, 则主要表现为橡胶的力学性质, 曲线呈明显的锯齿型, 应变大于 50%

基金项目: 北京市科技新星计划资助项目(954811600)
作者简介: 刘勇(1973-), 男, 山东阳谷人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事轮胎性能仿真方面的研究。

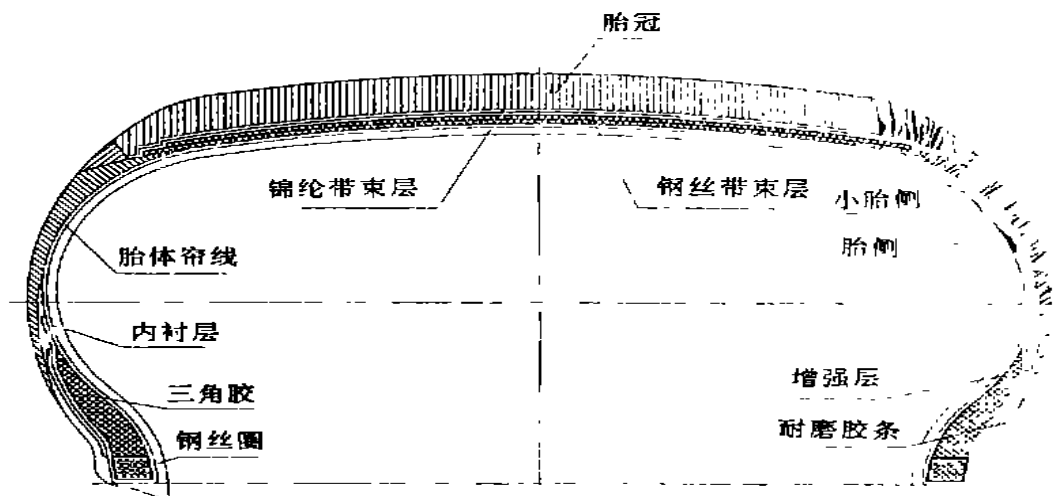


图1 子午线轮胎结构与材料分布

表1 试样尺寸

项 目	编号			
	1	2	3	4
帘线角度/(°)	0	30	60	90
宽度/mm	6.1	6.4	6.4	6.1
厚度/mm	1.1	1.1	1.1	1.1
测量长度/mm	33	33	33	33

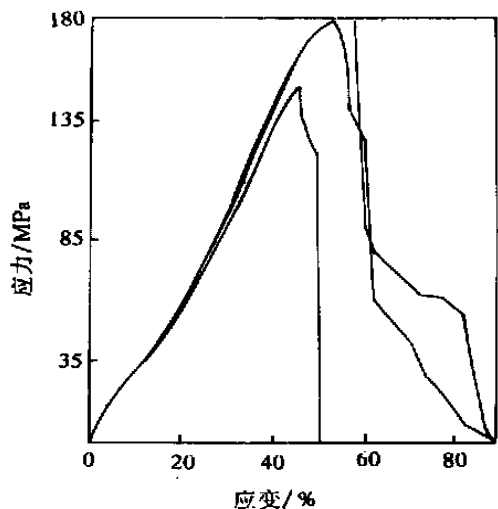


图2 0°角时胎体帘布应力-应变曲线

后仍不会断裂,其变形规律是非线性的。这是由于帘布纵向没有帘线承受拉力,主要靠帘线之间的橡胶材料承受拉力,而橡胶材料要经过最初的普弹形变,到分子链取向,再到高弹形变的过程;并且随着应力的增大,发生取向的分子链段越来越长,因此表现出典型橡胶材料的力学性质(参见图7)。

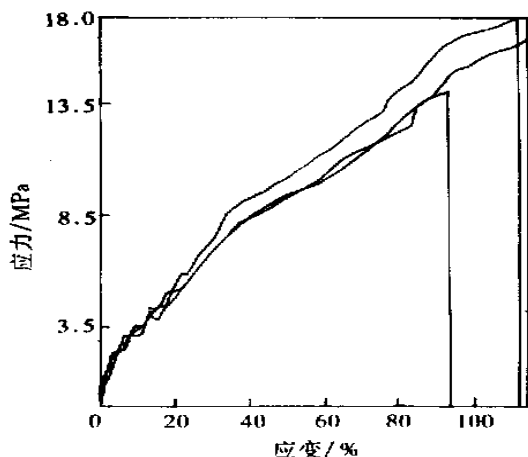


图3 30°角时胎体帘布应力-应变曲线

从图3和4可以看出,帘线角是30和60°的胎体帘布的应力-应变曲线分别类似于帘线角度为0和90°的胎体帘布的应力-应变曲线,并且二者有互相接近的趋势。可以认为,在帘线角是30°的胎体帘布中,帘线承受大部分拉力,橡胶材料承受小部分拉力;帘线角是60°的胎体帘布则相反。同时也可以看出,随着帘线角度从0~90°变化,帘线承受的拉力越来越小,而橡胶材料承受的拉力越来越大,变化可以认为是连续的;帘布的应变越来越大,曲线越来越呈现锯齿型,当应变量大约在8%范围之内时,可用线性来近似描述胎体帘布的应力-应变关系。

2.1.2.2 锦纶带束层

在锦纶带束层杨氏模量的测量中,对帘线角度分别为0和90°的2组6个试样进行了测试,测

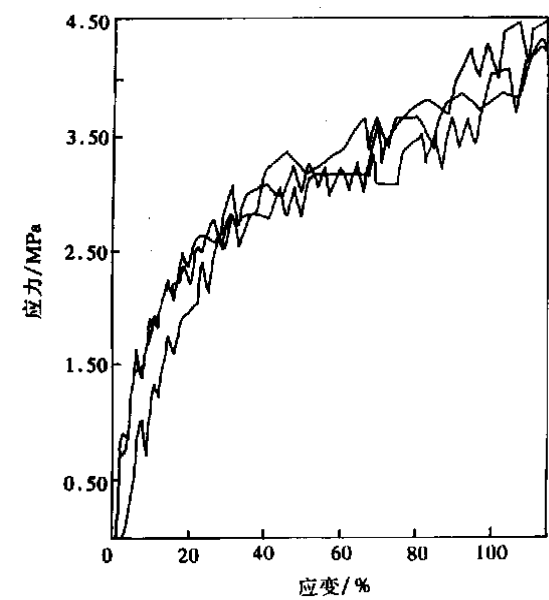


图 4 60°角时胎体帘布应力-应变曲线

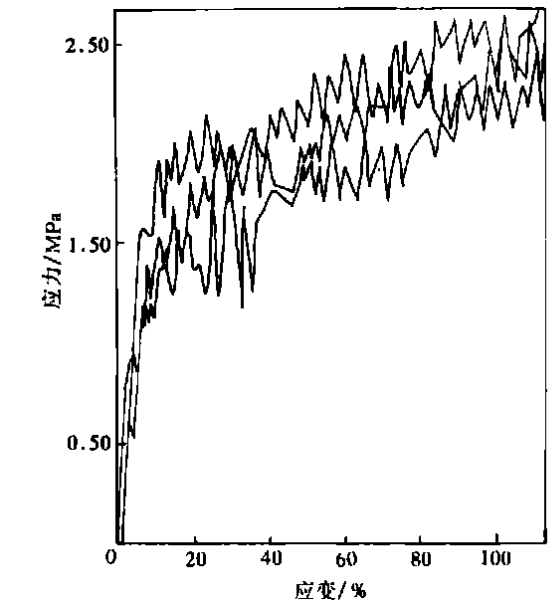


图 5 90°角时胎体帘布应力-应变曲线

试结果分别见图 8 和 9。锦纶带束层应力-应变关系及其杨氏模量的测量结果分别见表 4 和 5。

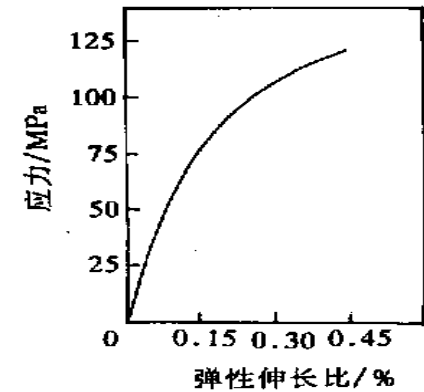


图 6 铸铁拉伸应力-应变曲线⁹

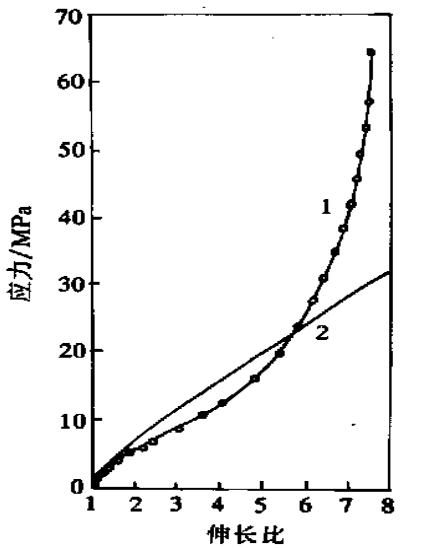


图 7 NR 应力-应变曲线¹⁰
1—实验值; 2—理论值

将图 8 和 9 与图 2 和 5 进行比较可以看出, 锦纶带束层与胎体帘布的应力-应变曲线几乎一样, 变化规律非常接近, 计算出的杨氏模量大小也差不多, 只是由于所用锦纶帘布规格型号不同而有微小差别。

2. 1. 2. 3 钢丝带束层

对于帘线角分别为 0 和 25° 的钢丝带束层, 为

表 2 胎体帘布应力测量结果									MPa
帘线角度/(°)	应变/%								
	5	10	20	30	40	50	60	70	
0	18.67	29.44	57.49	96.24	138.7	134.9	—	—	—
30	2.513	3.416	5.130	7.157	8.840	9.723	10.70	11.83	13.07
60	1.026	1.695	2.199	2.762	3.016	3.018	3.264	3.291	3.629
90	0.982	1.409	1.713	1.811	1.913	1.953	2.069	2.156	2.193

注: 数据为每组 3 个试样的平均值。

表 3 胎体帘布杨氏模量 测量结果

MPa

帘线角度/ (°)	应变/ %								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
0	372.0	294.4	287.5	320.8	346.8	269.8	—	—	—
30	50.60	34.16	25.65	28.83	22.10	19.45	17.80	16.90	16.34
60	20.52	16.95	10.96	9.210	7.540	6.036	5.440	4.701	4.536
90	19.64	14.09	8.565	6.037	4.783	3.906	3.448	3.080	2.741

注: 同表 2.

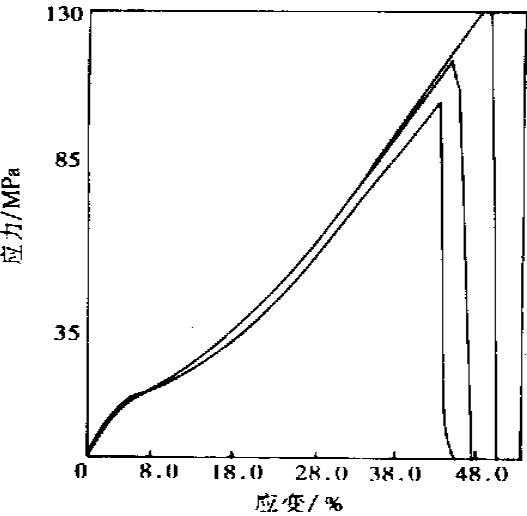


图 8 0°角时锦纶带束层应力-应变曲线

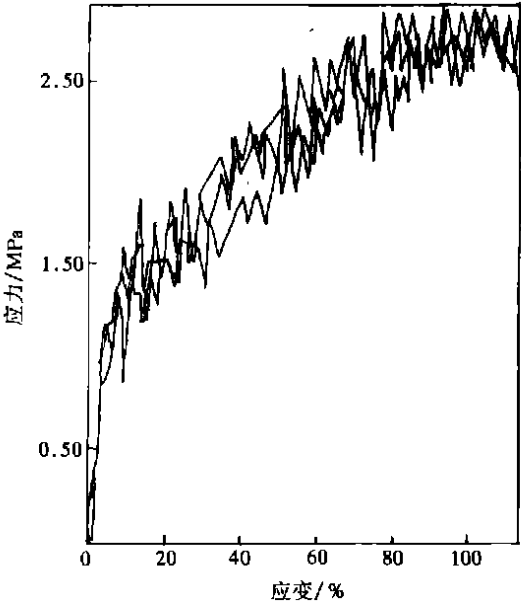


图 9 90°角时锦纶带束层应力-应变曲线

便于测试, 采用了 2 组 6 个双层试样, 测试的基本条件不变, 试样尺寸见表 6, 测试结果分别见图 10 和 11。钢丝带束层杨氏模量的测量结果见表 7。

对比表 7 与表 3 和 5 可以看出, 钢丝带束层应变很小(小于 50%), 而杨氏模量很大, 这恰好符合带束层的力学要求。带束层是子午线轮胎主要受力部位, 这与普通斜交轮胎的主要受力部位为胎体不同, 因此带束层是子午线轮胎结构的核

心, 要求采用刚性大、伸长小的材料^[11]。钢丝带束层应力-应变规律与前述胎体帘布相比较, 线性变形区减小至 2% 以内, 主要表现为钢丝的力学性质。

2.1.2.4 冠带层

根据冠带层的应用特点, 采用帘线角为 0° 的 1

表 4 锦纶带束层应力测量结果

MPa

帘线角度/ (°)	应变/ %								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
0	15.44	21.88	39.78	66.62	98.34	—	—	—	—
90	1.081	1.284	1.540	1.702	1.968	2.146	2.349	2.595	2.476

注: 同表 2.

表 5 锦纶带束层杨氏模量测量结果

MPa

帘线角度/ (°)	应变/ %								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
0	308.8	218.8	198.8	222.1	245.9	—	—	—	—
90	21.62	12.84	7.70	5.673	4.920	4.292	3.915	3.707	3.095

注: 同表 2.

表 6 试样尺寸		
项 目	编 号	
	1	2
帘线角度/(°)	0	25
宽度/mm	26	26
厚度/mm	2.6	2.6
测量长度/mm	155	155

表 7 钢丝带束层杨氏模量测量结果							MPa
帘线角度/(°)	应变/%						
	0.5	1	1.5	2	4	6	8
0	8 653	8 224	8 030	4 772	—	—	—
90	—	441.0	—	407.6	526.7	824.5	1 160

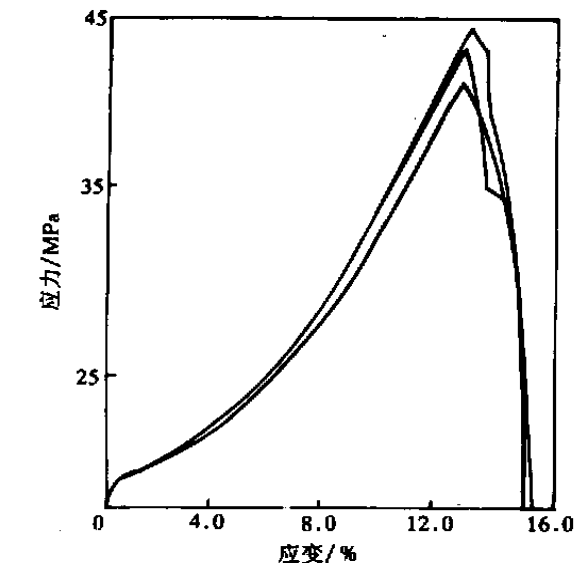


图 10 0°角时钢丝带束层应力-应变曲线

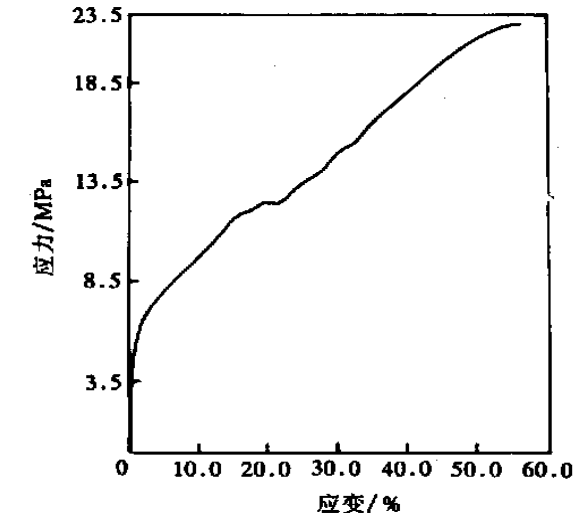


图 11 25°角时钢丝带束层应力-应变曲线

组 3 个试样进行了测试, 测试的基本条件不变, 试样尺寸如下: 帘线角度 0°; 宽度 5.9 mm; 厚度 1.2 mm; 测量长度 33 mm。

测试结果见图 12。冠带层在 0°角时, 应变为 5%, 10%, 20%, 30% 和 40% 对应的应力分别为 12.38, 19.21, 37.54, 61.81 和 57.38 MPa; 对应的杨氏模量分别为 247.6, 192.1, 187.7, 206.0 和 143.5 MPa。

从图 12 可以看出, 应力-应变规律与前述帘布角为 0°的胎体帘布相类似, 杨氏模量比之较小, 主要是由于所用纤维材料规格型号不同的缘故。

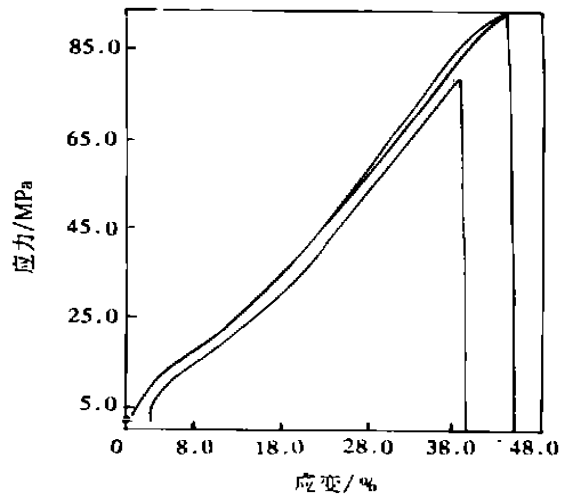


图 12 0°角时冠带层应力-应变曲线

2.2 泊松比和密度

采用前述测试仪器测得上述复合材料的泊松比及采用法国 MTS 公司 BD 密度仪测得的复合材料的密度见表 8。

表 8 复合材料的泊松比和密度		
项 目	泊松比	密度/(Mg·m ⁻³)
胎体帘布层	0.43	1.075
锦纶带束层	0.43	1.108
冠带层	0.43	1.225
钢丝带束层	0.36	2.015

3 结论

对子午线轮胎复合材料(胎体帘布层、锦纶带束层、钢丝带束层和冠带层)的杨氏模量、泊松比和密度 3 个重要力学参数进行实验测量, 为

子午线轮胎设计和性能仿真提供了重要的参考数据;对测量数据进行理论分析得知,在小变形范围内,钢丝和纤维帘线是线性的,而橡胶则呈现明显的非线性;在大变形范围内,胎体帘布层、锦纶带束层、钢丝带束层和冠带层等复合材料均呈现非线性;根据使用角度的不同,复合材料表现出的力学性质介于线性和非线性之间,因而在考虑轮胎材料的非线性问题时,主要考虑其中橡胶材料的非线性。

参考文献:

- [1] 邵文光, 胡幼学. 高速低断面轿车子午线轮胎冠带层力学性能研究[J]. 轮胎工业, 1995, 15(12): 714-718.
- [2] 王登祥, Tim F. 轮胎有限元(FEA)研究进展及应用成果[J]. 轮胎工业, 1998, 18(7): 395-402.
- [3] 丁剑平, 俞 淇. 有限元法在轮胎结构设计中的分析与应用[J]. 橡胶工业, 1995, 42(5): 304-314.

- [4] Danielson K T, Noor A K. Finite elements developed in cylindrical coordinates for three-dimensional tire analysis[J]. Tire Science and Technology, 1997, 25(1): 2-28.
- [5] Kao B G, Muthukrishnan M. Tire transient analysis with explicit finite element program[J]. Tire Science and Technology, 1997, 25(4): 230-244.
- [6] Raemdonck W V. Steel cord reinforcement beyond the year 2000[J]. Tire Technology International, 1998, 93-98.
- [7] 杨卫民. 子午线轮胎的三维非线性有限元分析和性能仿真的研究[D]. 北京: 北京化工大学机电工程学院, 1998.
- [8] 金日光, 华幼卿. 高分子物理[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991. 112.
- [9] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992. 30.
- [10] 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1990. 332.
- [11] 彭 迈, 林惠音, 俞 淇. 轮胎结构设计[M]. 广州: 华南理工大学, 1992. 90.

收稿日期: 2001-11-09

Experimental study on mechanical characteristics of tire composites

LIU Yong, YANG Wei-min

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The Young's modulus, Poisson's ratio and density of radial tire composites, such as carcass ply, nylon belt, steel belt and crown ply were determined. It was found through the analysis of the obtained data that the mechanical characteristics of composites was between linearity and non-linearity, i. e. that of steel cord or textile cord was linear and that of rubber was non-linear in the small deformation, and the mechanical characteristics of all the composites was non-linear in large deformation.

Keywords: radial tire; mechanical characteristics; composite

中联橡胶(集团)总公司 2002 年度工作会议 在四川成都召开

中图分类号: TQ330 文献标识码: D

2002 年 3 月 27 日, 中联橡胶(集团)总公司 2002 年度工作会议在四川成都召开。来自总公司及其所属企业的领导出席了会议。

会议对总公司 2001 年生产经营情况作了总结, 并对橡胶行业整体扭亏的现象进行了分析。会议重点就如何面对入世及 2002 年度发展目标展开讨论, 并达成了如下共识: 应对策略是务实、求新、见实效; 工作方针是充分发挥集团优势, 正面应对入世挑战, 诚信兴业; 2002 年度发展目标

是总收入 5.5 亿~6.0 亿元, 实现利润 1 500 万~2 000 万元。

针对这一发展目标, 总公司对其核心层企业提出如下工作思路:

(1) 充分发挥集团优势, 强化主业, 把科研生产、高技术产业化和高技术产品摆上主位;

(2) 进一步转变观念, 着力研究市场、开拓市场, 塑造企业核心竞争力, 打造企业品牌战略;

(3) 按入世要求和入世规划, 建立健全各级法人治理机构, 加强各级领导班子建设, 加大人事、劳资制度的改革力度。

(北京橡胶工业研究设计院 周 磊供稿)