

不同复合工况条件下轮胎轮辋配合安全问题研究

张科研¹, 莫秋云¹, 韦进明², 粟定华²

(1. 桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004; 2. 中橡集团曙光橡胶工业研究设计院, 广西 桂林 541004)

摘要:基于 Abaqus 非线性有限元软件, 建立了 12.00—20 18PR 越野轮胎的稳态滚动模型, 鉴于轮胎实际行驶状态的复杂性, 为针对轮胎轮辋配合安全获取合理的仿真设置工况, 通过考虑牵引、制动、侧偏和侧倾多工况的不同组合, 得到接触区域关于接触压力、摩擦应力分布等评价因素的变化趋势以及轮胎轮辋配合安全具有实际研究意义的工况, 并确定了可靠的仿真环境。

关键词:轮胎; 复合工况; 错动; 安全问题; Abaqus

中图分类号: TQ336.1; O241.82

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2015)10-0597-06

近年来, 交通运输业的迅猛发展对车辆的安全性能提出了更高要求, 轮胎作为接地转动部件, 其安全性研究更受到重视。轮胎轮辋配合安全性是轮胎安全性和结构设计^[1-2]的重点之一, 其一方面体现在接触配合的紧密性, 以保证轮胎内部气压正常; 另一方面体现在行驶过程中, 防止轮胎轮辋错动危险现象的发生^[3]。

以往研究多数是在静态工况下, 基于提高轮胎轮辋最大摩擦力矩对胎圈结构进行优化, 而对于轮胎轮辋错动现象的研究需要建立在实际的动态工况中。因此本工作基于不同复合工况, 研究轮胎滚动过程中轮胎轮辋配合安全性以及整体影响趋势。

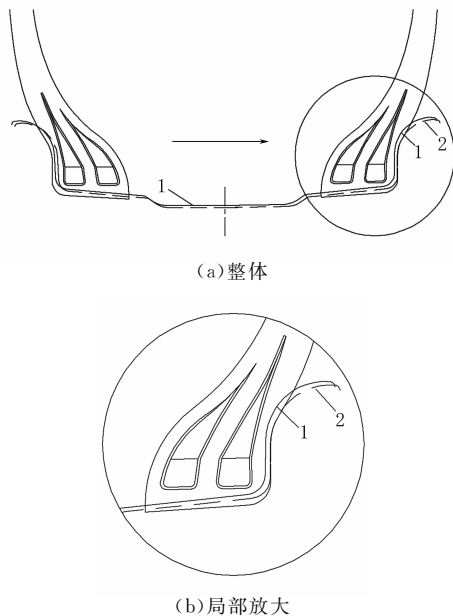
1 研究背景

滚动状态下, 轮胎轮辋配合的安全性问题主要体现为错动现象, 其会导致有内胎轮胎气嘴的破坏及无内胎轮胎胎圈气密层和轮辋的错动, 最终都表现为漏气, 严重威胁驾驶安全。其中, 错动沿发生方向可分为周向错动和径向错动。

(1) 车辆在牵引或制动过程中, 轮胎受到的驱动力矩或制动力矩大于轮胎轮辋间的周向极限摩擦力矩时, 轮胎相对轮辋就会发生所谓的周向错动^[4]。由此说明, 在轮胎轮辋配合结构确定的条件下, 轮胎所受外力矩的大小影响轮胎周向错动,

且制动、牵引是最常见的实际滚动工况, 故将制动、牵引确定为配合安全研究的最基本工况。

(2) 当车辆行驶在侧倾路面或轮胎转弯时, 在离心力的作用下, 轮胎轮辋左右两侧接触区域的受力情况存在差异。离心力指向一侧的轮辋相对胎圈有侧向错动分离的趋势, 对应轮缘部分的接触压力势必减小; 而另一侧则存在接触更加紧密的趋势, 轮缘部分的接触压力增大。侧向错动现象如图 1 所示。



1—受侧向力作用的轮辋原位置; 2—侧向力指向一侧轮辋变动位置。

图 1 轮胎轮辋侧向错动示意

作者简介:张科研(1989—), 女, 山东邹城人, 桂林电子科技大学在读硕士研究生, 主要从事机械设计及理论研究。

2 轮胎轮辋有限元建模与分析

2.1 轮胎非线性有限元建模

根据 12.00—20 18PR 特种越野轮胎的材料分布,通过在 AutoCAD 软件中提取轮胎橡胶、骨架,并合理进行网格划分,将骨架、橡胶及轮辋导入处理软件,定义基本参数,得到轮胎二维轴对称有限元模型,如图 2 所示。

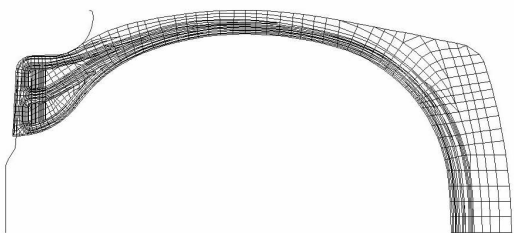


图 2 轮胎二维轴对称模型

然后,通过“AXISYMMETRIC FULL TIRE MODEL”文件指令构造轮胎和刚性轮辋、地面间的稳态滚动接触模型。依据对复合工况的研究,构造了路面有侧倾和无侧倾 2 个模型,见图 3。



图 3 轮胎稳态接触模型

2.2 轮胎轮辋有限元分析

该越野轮胎模型的额定充气压力为 810 kPa,额定负荷为 3 750 kg。在完成轮胎轮辋装配、充气及接地加载的静态分析后^[5],进而由 Abaqus 中的“SYMMETRIC RESULTS TRANSFER FOR TIRE MODEL”稳态传输指令,求解轮胎的稳态滚动接触问题。其中,在牵引、制动和侧偏、侧倾的复合工况中,通过设置多个分析步,定义轮胎的滚动角速度,实现轮胎由制动-自由滚动-牵引工况的转变;定义平动速度为 $8.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,侧偏速度为 $1.47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,实现轮胎 10° 的极限侧偏;通过改变地面参考平面,设定路面的

极限侧倾角为 16.7° 。其中,作用在模型各分析步上的每次增量,在得到平衡解的瞬间都处于稳态情形,由此可得一系列基于复合工况条件下轮胎轮辋接触分析的稳态解^[6]。

建立以下 3 种工况:制动、牵引和侧偏、侧倾复合工况(A),纯制动、牵引工况(B),制动、牵引和侧偏复合工况(C)。

3 结果分析与讨论

3.1 轮辋反力矩

对称选取左右胎圈中钢丝圈正下部的 101 和 1 085 两节点,沿周向建立 path1 和 path2 两条接触路径,其中 path1 对应右侧胎圈接触点的周向路径,path2 对应左侧胎圈接触点的周向路径,如图 4 所示。

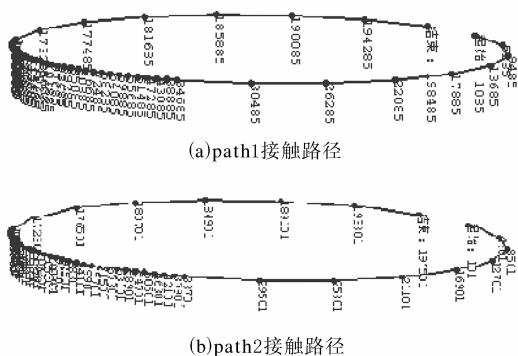


图 4 左右胎圈接触路径

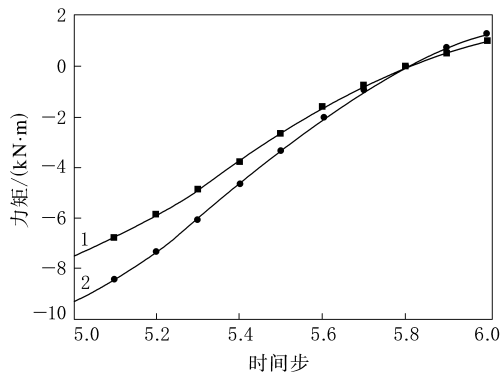
反力矩越大,轮胎轮辋间越易发生相对错动,因此从轮辋的反力矩着手,确定制动、牵引过程中最大反力矩出现的载荷步,进而指导错动现象的分析。其中,4 197 和 4 199 为分别对应左右轮辋的中心参考节点。

3 种工况下轮辋反力矩如图 5 所示。由图 5 可见:侧偏工况的引入使反力矩增大;侧倾引起左右轮辋反力矩的不等,起始状态下右轮辋的反力矩相对左轮辋减小(绝对值)约 $2 \text{ kN} \cdot \text{m}$,随时间步的增加差距逐渐减小。

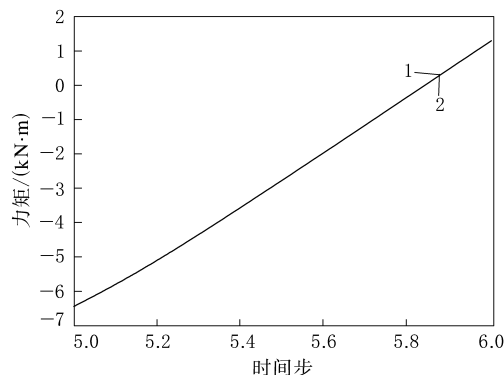
3.2 接触压力分布

轮胎轮辋间周向接触压力的分布是研究两者配合安全的重要物理量,5.0 时间步时 3 种工况下 2 条接触路径的接触压力分布如图 6 所示。

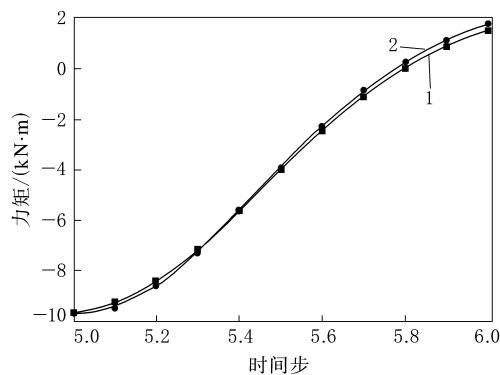
由图 6 可见:B 工况左右胎圈接触压力大体一致,在 $-20^\circ \sim +20^\circ$ 范围内差别较大,这主要是



(a) A 工况



(b) B 工况



(c) C 工况

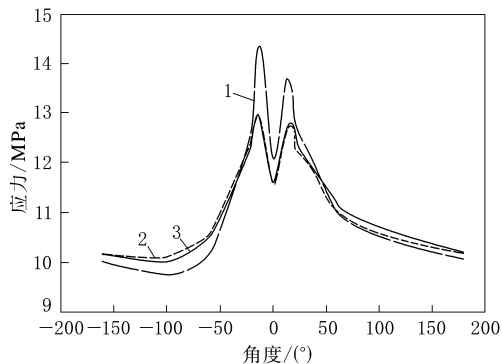
1—4 199; 2—4 197。

图 5 3 种工况下轮辋反力矩

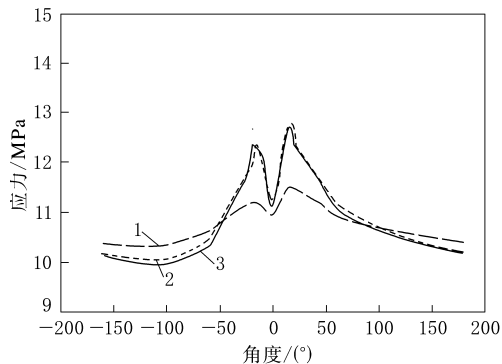
由于左右胎圈包布角度相反; C 工况左右胎圈的接触压力差值有增大趋势, 接触压力周向分布情况无变化; A 工况左右胎圈接触压力的差值进一步增大, 且沿周向分布情况有明显变化。总体看 A, B 和 C 工况都是右胎圈接触压力大于左胎圈。

3.3 摩擦应力分布

3 种工况下摩擦应力分布如图 7 所示。由图 7 可见: C 工况侧偏的引入使横、纵向摩擦应力



(a) path1



(b) path2

1—A 工况; 2—B 工况; 3—C 工况。

图 6 3 种工况下接触压力分布

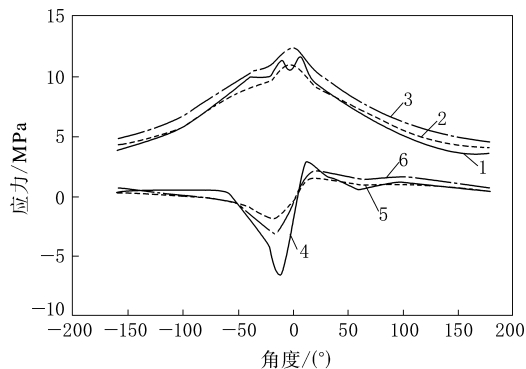
整体相对 B 工况增大, 但摩擦应力曲线沿周向的分布仍相同; A 工况侧倾的引入使左右胎圈的摩擦应力有明显差别, 且纵向摩擦应力在 0° 截面周围出现凹形, 横向摩擦应力有较大增加。3 种工况的横、纵向摩擦应力分布趋势基本相同, 仅存在 $C > A > B$ 的大小变化。

总体观察, path1 和 path2 的纵向摩擦应力都远大于横向摩擦应力。

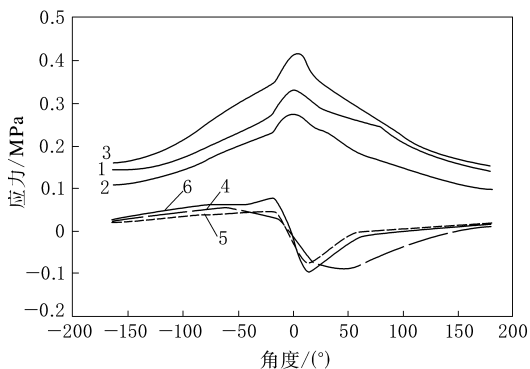
3.4 周向错位趋势

轮胎、轮辋错动的判断是当接触面之间的剪应力不小于极限摩擦剪应力时^[7], 其次是在接地区域摩擦应力或弹性滑动量出现突变时。文中设定轮胎、轮辋间的摩擦因数为 0.2, 轮胎、地面间的摩擦因数为 1.0。此处将摩擦应力放大 5 倍, 以便与接触压力间的数值比较。3 种工况下接触压力、摩擦应力、弹性滑移之间的曲线关系如图 8 所示。

依据 $\tau_c = \mu p$ 力学滑动条件 (τ_c 为临界摩擦力, μ 为摩擦因数, p 为压力), τ_c 小于 μp 时, 轮胎



(a) path1



(b) path2

1—A 工况纵向; 2—B 工况纵向; 3—C 工况纵向; 4—A 工况横向;
5—B 工况横向; 6—C 工况横向。

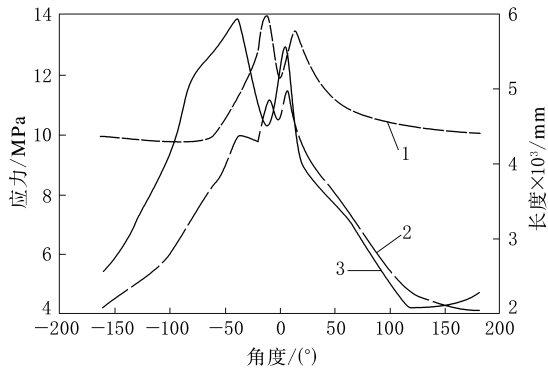
图 7 3 种工况下摩擦应力分布

发生错动;其次需要通过滑移判断弹性滑移是否超过最大弹性滑动极限量或观察滑移曲线不平滑,出现突兀。在以上两个条件同时满足的条件下,可以充分判断轮胎是否发生错动现象。

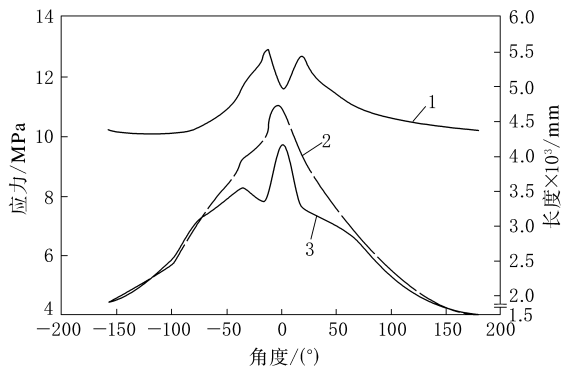
由图 8 可以看出:所有变量的最大值集中在 $-40^{\circ} \sim +40^{\circ}$ 区域,符合实际情况;相对 B 工况,由于 C 侧偏工况的引入,轮胎、轮辋间纵向接触压力和摩擦应力在最大值区域数值更加相近,接地区域的最大弹性滑动量(长度)增大了约 0.002 mm,错动趋势更明显,但数值仍小于最大弹性滑动极限量,判断不发生错动;A 侧倾工况的引入,使得接地后区的弹性滑动量增加,而此时的摩擦应力远离接触压力曲线,相对 B 和 C 两工况较不易发生错动。

3.5 侧向错动趋势

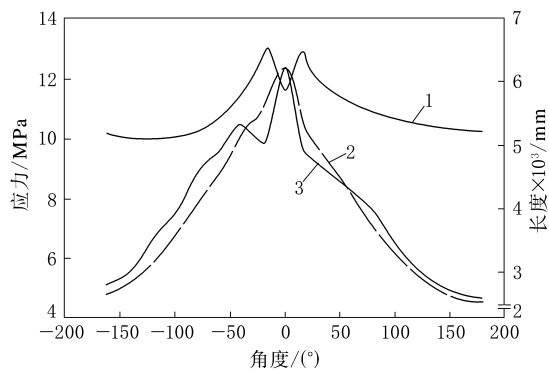
与周向错动的研究思路相似,进一步研究轮胎侧向的错动趋势,结果如图 9 所示。由图 9 可以看出,侧向摩擦应力与接触压力间相差很大,弹



(a) A 工况



(b) B 工况



(c) C 工况

1—接触压力; 2—摩擦应力; 3—弹性滑移。

图 8 3 种工况下周向错动趋势

性滑移量也明显减小,基本判定不会发生侧向错动现象。同时,C 和 A 复合工况中侧偏、侧倾工况的引入对各量的改变很小,即侧偏、侧倾工况对侧向错动影响可以忽略。

4 结论

尽管本工作针对的是特种越野轮胎,但其轮胎、轮辋配合安全性问题的研究方法同样适用于

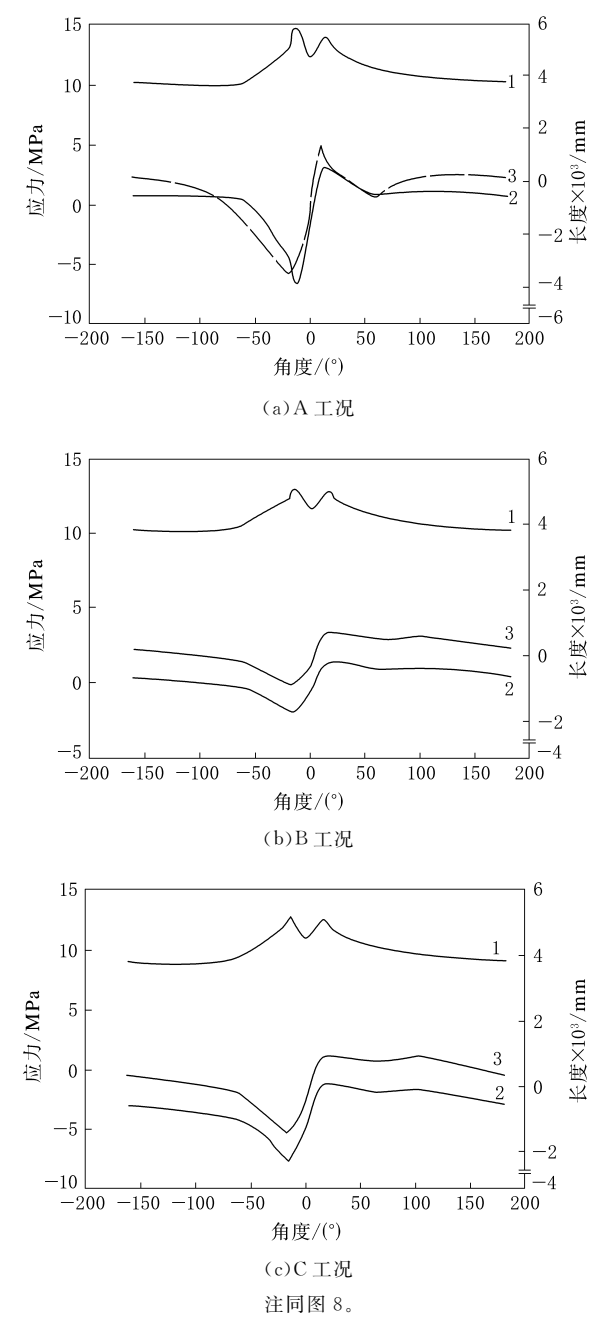


图 9 3 种工况下侧向蠕动趋势

其他轮胎。通过对轮胎、轮辋在不同工况下受力分布情况的对比,归纳出以下结论。

(1)侧偏会增大轮辋的反作用力矩,进而增大轮胎、轮辋接触区域的纵向摩擦应力,使得周向错动趋势更加明显,因此侧偏工况对研究轮胎、轮辋配合安全性有实际意义。

(2)路面侧倾直接造成轮胎左右胎面接地压缩量的不同,进而会使得左右胎圈接触区域在接触压力和摩擦应力分布上出现较大差异,但对周向错动基本没有影响。因此在研究轮胎、轮辋的配合安全问题时,不用涉及路面侧倾工况。从而确定了仿真环境下错动研究的基本工况。另外,侧向错动现象在各种复杂工况中都不发生,在研究轮胎、轮辋的配合安全性时可忽略。

(3)避免轮胎、轮辋错动的发生反映在实际车辆运行中,就是要避免急转弯过程中的急刹车操作以及尽量避免轮胎行驶在侧倾路面。

参考文献:

[1] 蔡庆,徐立,张伟,等. 37.00R57 巨型工程机械子午线轮胎胎圈与轮辋过盈配合优化设计[J]. 轮胎工业,2009,29(10): 598-601.

[2] 星宇. 具有特殊胎圈部设计的充气工程机械轮胎[J]. 现代橡胶技术,2010,36(6):20-25.

[3] 徐立,蔡庆,李福军. 有限元分析在轮胎-轮辋配合设计中的应用[J]. 橡胶科技市场,2009,10(18):11-13.

[4] Lee C. 轮辋错动与轮胎-轮辋配合的分析和设计[J]. 苏博,译. 轮胎工业,2009,29(12):726-735.

[5] 庄继德. 现代汽车轮胎技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001:3.

[6] 胡坚皓,顾洪波. 基于 ABAQUS 的轮胎动态滚动过程的有限元分析[J]. 煤炭工业,2011(5):16-18.

[7] 庄苗,由小川,廖建辉. 基于 ABAQUS 的有限元分析和应用[M]. 北京:清华大学出版社,2009.

收稿日期:2015-04-20

Safety Issues of Tire and Rim Fit Based on Different Complex Working Conditions

ZHANG Ke-yan¹,MO Qiu-yun¹,WEI Jin-ming²,SU Ding-hua²

(1. Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China; 2. Shuguang Rubber Industry Research & Design Institute, Guilin 541004, China)

Abstract: Abstract: Based on Abaqus nonlinear finite element software, the steady rolling model of

12.00—20 18PR off-the-road tire was established. For the complexity of actual driving condition, in order to obtain reasonable simulation environmental conditions on the fit safety of tire and rim, various combinations of the traction, braking, cornering and inclination conditions were considered. The influence of factors such as contact pressure and friction stress on contact region was investigated and the reliable simulation working conditions having practical significance for the fit of tire and rim were obtained.

Key words: tire; complex condition; dislocation; safety issue; Abaqus

百年梦想 百年创业——中国橡胶工业百年 纪念大会在广州隆重举行

中图分类号: TQ33 文献标志码: D

2015年9月17—18日,中国化工学会橡胶专业委员会联合华南理工大学、北京化工大学、青岛科技大学、广东省化工学会橡胶专业委员会主办的“百年梦想 百年创业——中国橡胶工业百年”纪念大会在广州华南理工大学隆重举行。十届全国人大常委会副委员长、原化学工业部部长顾秀莲,原化学工业部副部长李士忠,原化学工业部副部长、中国石油与化学工业联合会原会长李勇武,中国工程院院士曹湘洪、周福林、瞿金平,原化学工业部橡胶司副司长于清溪、鞠洪振等多位领导和专家出席纪念大会,行业内的专家、学者以及工程技术人员和企业管理者共500余人参加了会议。

大会伊始,播放了中国橡胶工业百年纪录片。该片回顾了中国的橡胶工业的百年发展史,展现了现代橡胶工业风采,无论是旧中国的风雨飘摇、艰难创业,还是新中国百废俱兴、科技进步和高速发展,均体现了中国橡胶工业人百折不挠、艰苦奋斗、团结协作、勇往直前的精神。

纪念大会由中国化工学会橡胶专业委员会主任委员、北京橡胶工业研究设计院常务副院长马良清主持。

回首百年历史,顾秀莲副委员长表示,中国的橡胶工业经过了几代人的努力,目前切切实实地拥有了大国的地位。今后要更加重视和加强科技投入、人才培养,用开拓的精神、科技的创新,变“中国制造”为“中国智造”,打造橡胶工业强国。

原化学工业部副部长李士忠表示,在过去的几十年中,中国橡胶工业的发展历经坎坷,现在的

橡胶制品已经渗透到工业、农业、交通运输、国防军工、航天航空航海、医疗卫生等各个领域,数以万计的橡胶制品在国计民生中正在发挥着不可替代的作用,对此他备感欣慰。

原化学工业部副部长、中国石油和化学工业联合会三届理事会会长李勇武表示,作为石油和化学工业的重要支柱,百年间,橡胶工业从几乎空白发展到主要产品产量均居世界前列,书写了一部百年创新史;已经百岁的中国橡胶工业,并不是步履蹒跚的老者,而是正在迎难而上的青年!完全有理由相信,在建党一百年的时候,中国一定会进入世界橡胶工业强国行列。

中国橡胶工业发展的见证者、原化学工业部橡胶司副司长于清溪表示,走过百年的中国橡胶工业,铸就了“艰苦创业、奋发图强,坚忍不拔、越挫越勇,拼搏进取、追求创新,不畏艰险、勇往直前,注重合作、大力协同”五种精神。在这五种精神的引领下,今后5~10年橡胶工业将向着建设橡胶工业强国的梦想不断前行。

面对新常态和新挑战,中国的橡胶工业企业通过这次百年纪念活动,应重新审视自身的发展思路,通过理论创新和工业化实践,借助“一带一路”等国家战略带来的历史机遇,使中国的产品质量上乘、环保,重视品牌效应,提高国际竞争力,从价值链的中低端走向中高端,这既是老一辈化工人提出的殷切希望,也是双钱股份、风神轮胎、山东玲珑等企业表达出的奋斗决心。

纪念活动上,隆重表彰了迎接中国橡胶工业百年中青年优秀科技工作者及中国化工学会橡胶专业委员会终身委员,颁发了荣誉证书和奖牌。

纪念活动后,同时举行了“第十届中国橡胶基础研究研讨会”和“中国橡胶百年——广州论坛”。

(本刊编辑部 冯涛 田军涛)