

全钢载重子午线轮胎的力学分析研究

郭 杨¹, 刘 锬¹, 潮 阳¹, 梁 俐¹, 李 伟², 夏 勇², 夏源明²

(1. 安徽开元轮胎有限责任公司, 安徽 合肥 230011; 2. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230027)

摘要:介绍轮胎力学发展的历史, 通过对轮胎设计理论的探讨, 认识到有限元分析已成为全钢载重子午线轮胎研究的主要手段。有限元分析对轮胎复合材料力学性能的接触问题、滚动损失和温度场等有了较成功的应用。准确预报复合材料性能, 建立合理描述材料的低模量和轮胎的大变形、大应变的力学模型以及解决热力学耦合问题, 仍是进行载重子午线轮胎力学分析的难点。

关键词:子午线轮胎; 轮胎力学; 有限元分析

中图分类号:U463.341⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8171(2001)01-0008-08

目前国内全钢载重子午线轮胎发展较为迅速, 但其技术来源主要依赖于国外进口。为了提高国内的技术水平, 寻求进一步研究轮胎力学问题的切入点和突破点, 以期更好地指导生产设计, 本公司与中国科学技术大学力学系合作, 对全钢载重子午线轮胎力学分析研究的现状进行了充分调研, 对其有了比较综合的认识。

1 轮胎力学研究的概况

1.1 轮胎力学在轮胎发展中的地位

从 19 世纪到 20 世纪初, 轮胎先后经历了从实心到空心, 从帆布骨架材料到帘线骨架材料以及橡胶硫化法和炭黑补强等一系列新技术的应用, 从而实现了早期的轮胎工业化生产。在这漫长的过程中, 轮胎性能的改进完全依赖于材料学和加工工艺的进步而得以实现, 而作为定量分析的轮胎结构力学理论是在此之后才逐渐建立起来的。从 Purdy(1928 年)用薄膜理论对轮胎结构进行的近似计算开始, 到 Hofferberth(1956 年)和 Biderman(1957 年)等以网络理论为基础, 形成斜交轮胎的自然平衡轮廓理论, 轮胎结构力学才逐渐地被应用到轮胎的结构设计中, 并促进了斜交轮胎性能逐渐完善。

子午线轮胎发明于 1913 年, 但直到 1947

年法国米其林公司首先发明了全钢子午线轮胎(1953 年开始工业化生产), 1954 年意大利倍耐力公司研制出半钢子午线轮胎, 才揭开了一场轮胎革命的序幕^[1,2]。由于子午线轮胎优越性能更依赖于合理的结构设计, 因此有了轮胎的结构力学理论模型的进一步发展。这些理论模型应用于轮胎的结构设计已充分显示出力学分析在改进轮胎产品质量中的重要作用, 使人们认识到结构与材料设计具有同等重要的地位。到 20 世纪 80 年代中期, 有限元分析技术在轮胎断面轮廓设计中的应用, 使其突破了自然平衡轮廓的束缚, 开始寻求自然平衡轮廓以外的最佳轮廓, 因而掀起了在轮胎结构设计中应用有限元技术的热潮, 这不仅加快了轮胎新产品的开发速度, 还促进了轮胎产品的多样化, 以满足不同的使用要求^[3]。这说明轮胎力学在轮胎设计中正向深度和广度快速发展, 轮胎力学已经成为“汽车轮胎学”的核心内容。

1.2 轮胎力学研究的方法及其演化

早期轮胎力学是沿着两条线索相对独立地平等发展。一是研究轮胎整体力学性能, 如负荷性、包络特性、侧偏特性和振动特性等。所用方法主要是建立简化的整体结构模型进行理论分析(这种模型的典型代表是弹性基础上的圆环梁), 同时发展轮胎成品力学性能的测试方法, 以便实测得到理论模型中的有关参数, 同时检验理论结果和发展理论分析。二是围绕轮胎

作者简介: 郭杨(1969-), 男, 安徽含山人, 安徽开元轮胎有限责任公司工程师, 学士, 从事技术管理工作。

的结构设计开展了与材料力学性能相关的结构分析研究工作^[4]。这些分析研究工作经历了以下发展过程:仅考虑帘线的承载能力,不计帘线变形和橡胶的受力和刚度;计及帘线变形和橡胶刚度;引入复合材料力学的理论和方法,将轮胎材料宏观平均地视为帘线-橡胶复合材料;进一步考虑到橡胶基体低模量、大变形的特点,提出了柔性复合材料的概念,使得对材料力学性能的描述逐步接近真实。轮胎结构的分析理论也由网络理论(主要用于轮胎断面形状设计和帘线的强度分析),经过薄膜理论和薄壳理论(将轮胎材料按复合材料考虑),建立了层合壳理论,至此轮胎结构力学在经典复合材料力学的框架内得到了充分的发展。但将这些理论模型的分析结论与实验和测试结果比较时发现,理论模型用于轮胎整体性能分析时比较可信,分析轮胎某些局部结构的力学特征时往往有很大出入。

20世纪70年代以后,有限元技术开始被用来分析轮胎结构的应力、应变分布。起初主要是考察有限元分析用于轮胎结构的有效性,后来轮胎研究和设计人员逐渐地接受了有限元技术,并将轮胎结构的有限元分析结果定性地考虑到轮胎结构设计中。1985年以后,开始将有限元技术直接用到轮胎结构的定量设计中,现在又将其应用于研究轮胎整体力学特性,如计算整体轮胎的径向刚度、固有频率、甚至分析产生驻波现象的临界速度等。可以说早期轮胎整体特性分析的理论模型只能通过测试来确定有关参数,而有限元的应用使得这些参数也可以由材料性能通过结构分析计算得到,并使得轮胎整体性能的研究成果可以被定量地考虑到轮胎结构设计中,例如,滚动阻力是由于材料的粘弹性造成应变能的滞后损失所带来的结果,在轮胎结构的设计中通过将损失的应变能最小化,就可以设计出低滚动阻力轮胎。

由此可知,有限元技术的应用与发展使轮胎力学进入了新的发展阶段,即轮胎整体特性分析和轮胎结构分析相互交叉融合阶段。与此同时分析尺度逐渐细化,即从仅考虑宏观平均性质的整体力学性能分析逐渐深入到结构的局

部力学特征的研究,并进一步注意结构的细观分析的趋势。

轮胎力学的发展使人们越来越深刻地认识到轮胎的力学行为取决于两大要素——材料与结构。

这里的结构以及与之对应的材料可从3个层次来理解:第1层次是轮胎结构(主要是指外胎结构),对应的材料指帘线-橡胶复合材料(如胎体材料、带束层材料)和橡胶(如胎面材料);第2层次是帘线-橡胶复合材料本身的结构,对应的材料是帘线和橡胶;第3层次是橡胶和帘线本身的结构,对应的材料分别是橡胶组分材料、增强材料和组成加捻帘线的单丝材料以及单丝材料本身的组分材料等。因此,轮胎设计包括材料设计和结构设计两大部分。然而传统观念中的材料设计实际上只涉及到第3层次的材料设计,也就是配方设计;结构设计也只涉及到前两个层次的结构设计,并且更偏重于第1层次。这种观念造成了材料设计和结构设计相互隔离的局面,并进一步造成设计难以深入,材料设计的目标也不够明确。

结构的力学性能既取决于材料本身,也取决于结构形式。设计结构形式就是合理利用材料的力学性能,充分发挥结构效应。随着力学研究由宏观向细观、微观的深入,轮胎力学应当将上述3个层次的结构设计囊括在内,以便加强结构设计和材料设计的联系,并逐步将两者融为一体。事实上轮胎力学的发展过程和趋势也体现了这一点。

1.3 全钢载重子午线轮胎的结构特点

从结构上看轮胎有3种基本类型,即斜交轮胎、带束斜交轮胎和子午线轮胎。这3种轮胎的使用性能和力学特性有明显的差别,子午线轮胎不仅已经表现出更优良的性能,而且也更具有继续改进和发展的潜力。

与斜交轮胎不同,子午线轮胎的带束层和胎体层有相对独立性,并且带束层的侧向和周向刚度很大。认清这些结构上的特征,不仅有助于更好地分析子午线轮胎的整体力学性能,也有利于在轮胎结构设计中把握好方向。我国生产和设计斜交轮胎的历史较长,为避免传统

设计思维影响,设计子午线轮胎时应注意两者在结构设计方面的区别。

(1)斜交轮胎设计要点是胎体,而子午线轮胎则是带束层。原因是胎体是斜交轮胎的主要承载结构,而子午线轮胎的主要承载结构是带束层。

(2)子午线轮胎轮廓设计的变化余地比斜交轮胎的更大,利用带束层可以很方便地改变高宽比。

(3)相对斜交轮胎而言,子午线轮胎更重视钢圈的设计,因为子午线轮胎钢圈承受的应力比斜交轮胎大 30 % 左右。

就轮胎设计的思维方式而言,全钢与半钢子午线轮胎没有本质的区别,只是在具体的分析计算中要注意到胎体的骨架材料分别为钢丝帘线和非钢丝帘线,从而引起的材料力学行为和热学性质的区别。

2 子午线轮胎设计的现状

轮胎设计包括结构设计和配方设计两大部分。轮胎结构设计的核心内容是外胎设计,包括断面轮廓形状设计,带束层、胎圈及胎体的结构和参数设计,还有胎面花纹设计。以下讨论仅限于外胎结构设计。

2.1 传统设计理论

1956 年 Hofferberth 发表了斜交轮胎断面形状的网络理论,1957 年前苏联的 Biderman 研究了模型与轮胎充气形状的关系,提出了用于轮胎形状设计的列线图法,他们的工作已经基本上建立了适用于斜交轮胎的自然平衡轮廓设计理论。

20 世纪 60 年代, Frank、Bohm、Clark、Akasaka(赤坂隆)和酒井秀男等针对子午线轮胎结构上的特点,在沿用自然平衡轮廓理论时做了一些修正工作。在此后的 20 年间,轮胎的设计理论基本上没有大的发展,人们也误认为自然平衡轮廓是轮胎断面的最佳轮廓。由于网络理论等对轮胎整体力学特征作出了较恰当的描述,因而取得了很大的成功,但这些理论模型也作了很多大胆的假设,忽略了一些对轮胎整体力学响应影响不大,但对轮胎局部力学响应

有重大贡献的因素。因此利用自然平衡轮廓理论仅能设计轮胎断面形状以及粗略地估算钢圈和帘线的受力,远远不能满足科学的定量设计的要求,很多设计要素都是根据经验确定的。现在通常把自然平衡轮廓理论称为传统设计理论,它是半定量、半经验的传统设计方法的基础。

2.2 现代设计理论

自然平衡轮廓理论是针对静态轮胎仅受充气压力作用时的轮廓而提出的。随着车速的提高,人们发现车辆在高速行驶下转弯时轮胎胎面不能全部抓着路面,导致部分胎面从地面浮起,即产生所谓的“翘曲现象”。这一现象促使人们开始对负荷行驶状态的轮胎断面形状进行研究。到 20 世纪 80 年代,有限元法用于轮胎结构分析已有了一定的基础,并有力地促进了对行驶中轮胎断面最佳轮廓的研究。1985 年,日本的普利司通公司首先发表了轮胎最佳滚动轮廓理论 RCOT,这个理论打破了传统设计理论的思想束缚^[1,4]。随后便涌现出许许多多的现代设计理论。

(1) 最佳滚动轮廓理论 RCOT (Rolling Contour Optimization Theory)。这是一种确定轮胎断面轮廓的理论,它是通过预先控制轮胎充气时在带束层和帘布层上产生的张力分布,使行驶时的张力分配达最佳状态。利用该理论设计的轮胎不仅解决了翘曲问题,还减小了滚动阻力,改善了乘坐舒适性,而且操纵稳定性、制动性等各项性能均得到了提高。令人惊奇的是这些轮胎性能的改善仅仅是通过改变轮廓形状而实现的。

(2) 最佳张力控制理论 TCOT (Tension Control Optimization Theory)。此理论由普利司通公司于 1988 年提出,也是一种轮胎轮廓设计理论。它针对载重子午线轮胎在高气压、重载荷的使用条件下轮胎的强度和耐久性等性能,着重解决带束层端部和帘布层反包级差处的应力应变集中问题,所采取的措施与 RCOT 相同,也是控制行驶时的帘线张力,但两者控制张力的目的不同。

(3) 负载时应变能最小化理论 SEMT

(Strain Energy Minimization Theory)。此理论由日本横滨公司于 1988 年提出,着眼于提高钢丝载重子午线轮胎的耐久性,采取优化轮胎的轮廓、结构和材料,以减小带束层端部和帘布层反包端部的应变能,从而使整个轮胎负载时的应变能最小化。SEMT 设计的程序如图 1 所示。

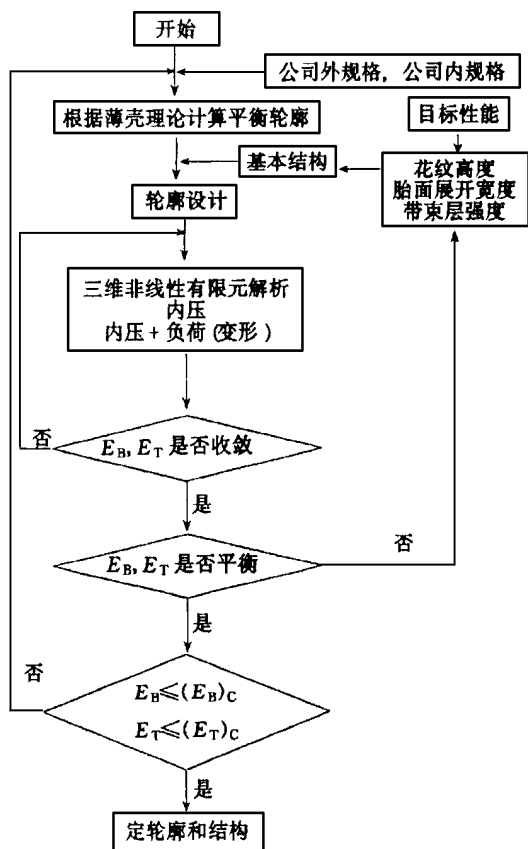


图 1 SEMT 设计程序流程图

$(E_B)_c, (E_T)_c$ —对应的临界疲劳应变能; E_T —帘布层反包端部应变能; E_B —带束层端部应变能;

计算发现,承受负荷时的带束层端部应变能 E_B 和帘布层反包端部应变能 E_T 分别为无负荷时的 20 和 10 倍,表明设计轮胎时考虑耐久性就必须考虑有负荷的情况。与前面两个轮廓优化设计理论不同的是 SEMT 不仅对轮廓进行优化,同时还采用了耐疲劳性能好的新材料,并发展了一种新的带束层结构。

(4) 周期性应力-应变优化理论 CSSOT。此理论由莫斯科轮胎工业科学研究院于 1988

年提出。它不仅对轮胎断面的轮廓形状进行优化,还考虑了胎肩部位的形状、胎冠形状以及材料特性和材料分布等内部结构特性的影响。对于轮胎耐久性设计,认为需要应用复杂应力状态下的疲劳强度准则和疲劳强度曲线。该理论建立了利用帘线曲线图来测定疲劳强度的方法,提出在交替变化的平面剪切和双轴拉伸情况下的耐疲劳特性应由每个周期性剪切应变的幅度和所用的最大应力值来确定。

(5) 大统一轮胎理论 GUTT (Grand Unified Theory in Tire)^[5~7]。此理论是由普利司通公司于 1995 年提出的确定轮胎最佳轮廓的理论和方法。GUTT 理论将优化技术与轮胎结构有限元分析相结合,通过选择设计变量(如胎侧、胎体轮廓形状),确定目标函数和约束条件,由计算机搜索得到轮胎优化轮廓。目标函数可由设计人员所期望得到的轮胎特定性能来确定。例如,选择目标函数使带束层张力和胎圈部位胎体张力达到最大,可改进操纵性能;选择损失的应变能为目标函数,可使滚动阻力最小化;选择主应变或应变能密度为目标函数,可改进耐久性等。

2.3 轮胎结构设计理论的评价

轮胎有限元技术的应用有力地促进了结构设计理论的发展,这不仅体现在已取得的研究成果上,更重要的是它还打破了传统设计理论几十年停滞不前的局面,为结构设计的进一步发展提供了更多可能的机会。可以说,结构设计理论已向量化阶段迈出了第一步。现代设计理论有两个显著特点:

(1) 结构计算强烈地依赖于有限元分析水平,因而限制有限元技术水平的有关因素也同样限制了结构计算的水平。

(2) 产品的目标设计性能在一定程度上还需要根据经验事先确定。因此产品性能或设计理论的水平还取决于有限元分析的精度和目标性能的确定是否恰当以及用力学量对目标性能描述的准确性。事实上,在这些方面还有大量的基础研究和应用研究工作要做。

①目前所用的有限元分析软件的功能虽已十分强大,但也只能基本满足工程需求。因此

还要继续研究如何更准确地对轮胎进行有限元模拟,同时,要在这些软件中添加有限元技术的最新研究成果也是非常重要而艰巨的工作。

②要获得可靠的有限元分析结果,必须提供可靠的材料力学参数。目前人们对轮胎材料力学性能的认识水平还相当有限,亟待解决的问题还很多,而且有限元技术在轮胎结构设计和分析中应用得越深入,就越要求对轮胎材料进行更深入的力学研究。

③目标性能往往是根据同类产品的常见问题来确定,因此需要深入研究导致这些问题的根本原因,并用力学量来表示。如用损失的应变能作为减小滚动阻力的目标函数^[8]等,类似这样的研究都是非常大的课题,涉及面广、工作量大,并且有相当大的难度。

④虽然有关文献^[5]从理论上探讨过多目标优化问题,目前还没有真正实施,部分原因是计算机容量的限制。

⑤结构设计中的变量很多,已有设计理论因某些局限性仅将其中很少的一部分作为设计变量。从这个意义上讲,这些设计还没有达到最佳程度,如 TCOT 理论仅是指在结构参数和材料参数不变的情况下达到了轮廓形状最佳,若改变某个结构参数(如宽度和厚度),那么就会有另一个最佳轮廓。

⑥做不到对某些不能以参数形式表示的设计变量进行优化设计,而只能是计算几种情况,然后选定较好的一种,如带束层的结构形式^[9]。

总之,要改进轮胎产品的设计,仅仅建立设计理论的框架是不够的,是否能充分发挥现代设计理论的优越性,很大程度上还依赖于对上述具体细节问题的认识水平和处理能力。

2.4 我国轮胎设计的状况

我国的轮胎生产可追溯到 1921 年在中国上海江湾模范工厂设立橡胶部并进行轮胎生产,1931 年又在上海建立了轮胎制造厂。建国后,轮胎生产已经历了半个多世纪,现在的轮胎产量和质量与国际先进水平相差不大。但是应该清醒地看到,国内的轮胎生产力量分散,产品质量是靠引进国外先进生产技术和设备来保证

的。轮胎研究和设计水平与国外先进水平相比还有相当大的差距,正如有关文献^[3]所述,“我们所说的国产轮胎新产品,往往是指规格或系列有所变化而言;真正具有创新意义的新产品,实际上还从未见过;仿中有创的新产品也罕见。”

可喜的是,近年来越来越多的科技人员加入到轮胎力学的研究队伍,发展这支队伍是开创我国轮胎设计与研究新局面的希望所在。

3 轮胎有限元分析技术现状

3.1 有限元法在轮胎整体特性分析中的应用

目前有限元法在轮胎整体特性分析中的应用可归纳为以下几个方面。

(1)直接研究帘线-橡胶复合材料本身的力学性能。例如,由于帘线是由许多股细线捻在一起的,拉伸或弯曲时产生拉扭耦合或弯曲耦合,Padovan^[10,11]等提出了微极理论来描述这种帘线的耦合效应对橡胶复合材料力学性能的影响,尤其是对帘线-橡胶复合材料端部力的传递特性的影响,并用有限元细观模拟分析的结果来验证。Pidapari^[12]也用三维有限元分析了带束层受扭转作用时这种耦合作用所带来的影响,指出带束层间有显著的弯剪和扭剪变形。Ebbott^[13]和 Hocine^[14]对帘线-橡胶结构断裂力学性质作了有限元分析。

(2)分析接触问题^[15~17]。胎面和路面的接触分析可给出轮胎在各种工况下印迹内的应力分布规律,这对判断操纵性能和胎面磨损性能非常重要。轮胎与轮辋的接触分析揭示了胎圈部位应力分布的复杂性,可为胎圈部位耐久性优化设计以及轮辋的疲劳设计提供数据。

(3)计算滚动损失和温度场^[8,18~22]。这类涉及热力耦合的处理方法采用了迭代的方法。第 1 步,根据加载条件计算滚动轮胎各部分的应力、应变等力学响应;第 2 步,由材料的粘弹性能计算耗散能量;第 3 步,认为耗散能转变为热量,计算含热源的轮胎温度场(迭代计算之前可以先假定一个温度分布状况);第 4 步,将温度变化以及加载条件一起考虑,再计算应力、应变场。重复第 2~4 步,直到轮胎的温度场不再

变化。

(4) 研究有关参数的改变对轮胎性能的影响。Kennedy^[23]用有限元法分析比较了一些参数的改变对轮胎充气性能的影响时发现帘线角度改变产生的影响最明显。Wu 等^[24]对轿车子午线轮胎分析表明, 轮胎从 80 系列降至 70 系列时, 带束层帘线的周向应力增加 10%~15%, 胎体帘线拉力却降低 5%。

(5) 研究轮胎的动力学特性。Mousseau 和 Clark^[25]结合有限元法研究了弹性基圆环梁模型在分析轮胎越过障碍问题时的有效性; Kao 等^[26]用显式积分有限元法计算了滚动轮胎的冲击响应, 以评价轮胎的乘坐舒适性; Goldstein^[27]用 Abaqus 程序分析自由滚动、转向和制动 3 种工况下载重轮胎印迹内的力和力矩, 以及转向刚度、制动刚度和回正刚度。

3.2 有限元分析取得成功的原因

有限元分析在轮胎结构设计中能够取得成功的原因如下。

(1) 有限元分析技术本身经过半个世纪的研究与开发, 已经可以模拟杆、板、壳、实体等几乎所有结构, 可以考虑弹性、弹塑性、粘弹性、超弹性材料性质, 可以分析小变形、大变形的静、动态问题等, 并且很多大型的商用软件已经把有限元技术本身的研究成果实用化。常见的用于轮胎分析的商用软件有 ABAQUS, MARC, ANSYS, MSC/Nastran 等。各大轮胎公司还开发了内部的分析软件。尽管有限元技术在具体应用中还有许多问题需要探讨, 但它可以作为一种有效的应用工具是毫无疑问的。

(2) 对轮胎材料的力学性能研究已取得了一定的成果, 如已经可以对橡胶材料和帘线-橡胶复合材料的应力-应变关系进行适当的近似描述等。

(3) 有限元法用于轮胎结构分析经历了几十年的研究, 积累了一些经验, 如模拟轮胎结构的单元选取和边界条件的处理等。

(4) 轮胎力学性能的研究所取得的一些理论成果和大量的经验认识, 为现代轮胎设计打下了基础。如现代结构设计理论一般都是先根据自然平衡轮廓理论设计轮胎的初始断面轮

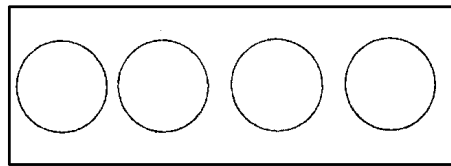
廓, 然后再对其进行改进, 另外产品的目标性能也是根据经验来选定。

3.3 有限元分析有待进一步发展

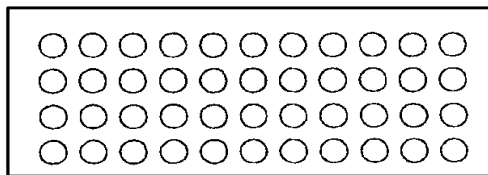
尽管有限元技术在轮胎的结构设计与分析中已经取得了丰硕的成果, 我们也应该看到由于轮胎材料、轮胎结构以及轮胎工况的复杂性和特殊性, 轮胎有限元技术还有待于继续发展。

(1) 选取更恰当的单元来模拟轮胎的结构材料。帘线-橡胶复合材料与经典的纤维复合材料不同, 用三维实体单元也难以较准确地描述其力学特性。因为纤维复合材料含有大量相同取向的纤维增强材料, 纤维对基体的加强作用已平均化, 所以可将纤维复合材料视为均质的横观各向同性材料, 从而可方便地描述复合材料的力学性能, 见图 2。然而帘线-橡胶复合材料中帘线的数量很有限, 在复合材料中所占的体积也不够大, 不能把帘线的加强作用在整个橡胶基体的体积内平均化。早期有人甚至现在还有人照搬经典的复合材料力学理论来处理这种单元, 结果自然会带来很大误差。我们认为对这个问题处理得比较恰当的办法是: 用三维实体单元来模拟橡胶基体, 再用加强单元模拟帘线的增强作用, 见图 3^[9]。这个问题还值得继续研究。

(2) 帘线由多股细线捻在一起而带来的多种耦合作用以及造成帘线与橡胶基体附着区域复杂的变形等对材料的耐久性等性能必然会有影响, 如何用实用而准确的方法来描述并分析



(a) 帘线-橡胶复合材料



(b) 纤维复合材料

图 2 模拟轮胎复合材料力学性能的单元

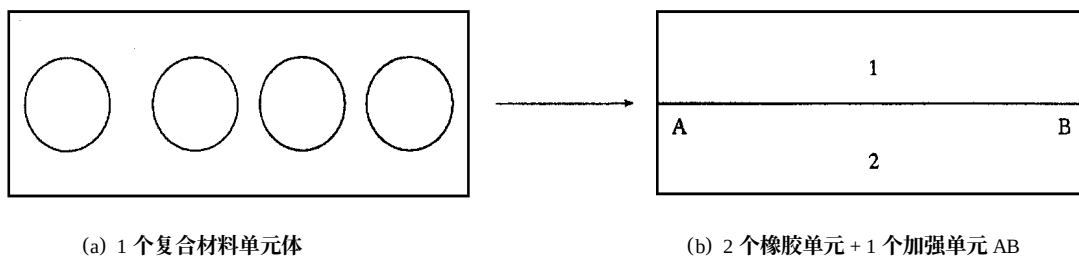


图3 模拟帘线增强作用的加强单元

这些问题还有待研究。

(3) 橡胶材料的低模量和轮胎结构变形复杂性可能会在轮胎的局部区域造成超大变形和大应变,由此会给问题的描述和处理带来困难,如何更加合理地描述这些特性的力学模型仍有待研究。

(4) 轮胎在各种工况下以及考虑热力耦合时的问题中,如何恰当地处理边界条件一直是轮胎有限元技术的难点和研究热点,目前已经提出一些行之有效的办法,如考虑接触面摩擦作用的非线性约束条件等,这些处理方法虽然已经做了大量的简化,但仍然相当复杂,有很大的局限性。

(5) 轮胎有限元设计的计算量非常惊人,计算机的容量也限制了设计的自由度。从应用的角度来看,不仅要求轮胎有限元技术能够处理问题,而且还要求能高效地处理问题。这既要依靠计算机硬件的进步,同时也要在软件方面寻找办法。

4 结语

轮胎力学经历了70年的发展与演化,已经成为一门内容十分丰富的学科。它与轮胎工业紧密联系,解决了大量的工程实际问题。轮胎结构设计中力学研究的主要课题概括如下:

(1) 围绕提高轮胎结构分析的技术水平展开研究;

(2) 轮胎材料和结构的破坏机理;

(3) 轮胎整体力学特性与组成轮胎结构的材料性能之间的关系。

虽然轮胎结构设计的现代理论已经提出了很精彩的设计思想,但由于受到上述3个课题当前发展水平的限制,现代理论的优越性还远

远没有得到充分的发挥。目前真正的优化设计还难以实现。因此,围绕这些课题展开研究并恰当、及时地将整个力学研究领域的新思想、新方法引入到轮胎设计中来,都将会对轮胎的结构设计产生积极的推动作用。

参考文献:

- [1] 郑正仁,王洪士,毛寿昌. 子午线轮胎技术与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1994.
- [2] 长船作男. 轮胎[J]. 王金鉴译. 橡胶译丛,1982,(4):17-25.
- [3] 叶可舒,钟莹. 国外轮胎新产品信息调研[J]. 轮胎工业,1998,18(6):323-329;18(7):387-394;18(8):451-457.
- [4] 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.
- [5] Nakajima Y, Kamegawa T, Abe A. Theory of optimum tire contour and its application[J]. Tire Science and Technology, 1996,24(3):184-203.
- [6] Nakajima Y. 大统一轮胎技术 GUTT[J]. 刘大众编译. 轮胎工业,1997,17(4):212-215.
- [7] Abe A, Kamegawa T, Nakajima Y. Optimum Young's modulus distribution in tire design[J]. Tire Science and Technology, 1996,24(3):204-219.
- [8] Browne A L, Arambages A. Modeling the thermal state of tires for power loss calculations[J]. SAE 810163.
- [9] Nemeth T, Nandori F, Sarkozi L, Szabo T. Application of a technical documentation system for developing new belt constructions for truck tires[J]. Tire Science and Technology, 1995,23(4):266-282.
- [10] padovan J, Ma J, Paris H. Millipolar theory for twisted cord reinforced composites[J]. Tire Science and Technology, 1995,23(3):138-174.
- [11] Giuliani G P. 橡胶-钢丝帘线复合物力学动态损失[J]. 苏玉英译. 橡胶译丛,1984,(4):102-105.
- [12] Shen Yi Luo, Taban F. Deformation of laminated elastomer composites[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1999,72:212-224.
- [13] Ebbott T G. An Application of finite element-Based fracture

- mechanics analysis to cord-rubber structures[J]. Tire Science and Technology, 1996, 24(3): 220-235.
- [14] Smith R W. The microscopy of catastrophic tire failures[J]. Rubber Chemistry and Thechnology, 1997, 70: 283-293.
- [15] Faria L O. Tire modeling by finite elements[J]. Tire Science and Technology, 1992, 20(1): 33-56.
- [16] Jeusette J P, Theves M. Finite element analysis of tire/ rim interface forces under braking and cornering loads[J]. Tire Science and Technology, 1992, 20(2): 83-105.
- [17] 张 翼, 唐 萌. 胎圈-轮辋接触问题的三维有限元分析[J]. 轮胎工业, 1999, 19(2): 83-85.
- [18] Whicker D, Rohde M. Modeling tire deformation for power loss calculations[J]. SAE 810161.
- [19] Segalman D J. Modeling tire energy dissipation for power loss calculations[J]. SAE 810162.
- [20] Whicker D, Segalman D J, Browne A L. The structure and the use of the GMR combined thermo-mechanical tire power loss model[J]. SAE 810164.
- [21] Luchin J R, Peters J M, Arthur R H. Tire rolling loss computation with finite element method[J]. Tire Science and Technology, 1994, 24(4): 206-222.
- [22] Yavari B, Tworzydlo W W, Bass J M. A thermomechanical model to predict the temperature distribution of steady state rolling tires[J]. Tire Science and Technology, 1993, 21(3): 163-178.
- [23] Akasaka T. Structural mechanics of radial tires[J]. Rubber Chemistry and Thechnology, 1981, 54: 461-492.
- [24] Wang T-M, Daniel I M, Huang K. Stress analysis of tire section[J]. Tire Science and Technology, 1996, 24(4): 349-366.
- [25] Mousseau C W, Clark S K. An analytical and experimental study of a tire rolling over a stepped obstacle at low velocity [J]. Tire Science and Technology, 1994, 22(3): 162-181.
- [26] Kao B G, Muthukrishnan M. Tire transient analysis with an explicit finite element program[J]. Tire Science and Technology, 1997, 25(4): 230-244.
- [27] Goldstein A A. Finite element analysis of quasi-static rolling tire model for determination of truck tire forces and moments[J]. Tire Science and Technology, 1996, 24(4): 278.

收稿日期: 2000-08-21

2000 年轮胎认证企业工作会议 在昆明召开

中图分类号: TQ336.1 文献标识码: D

由中国轮胎产品认证委员会组织的 2000 年轮胎认证企业工作会议于 2000 年 10 月 15 ~18 日在昆明召开。来自 41 家已认证或即将认证的轮胎生产企业、国家质量技术监督局、国家石油和化学工业局、北京橡胶工业研究设计院及国家轮胎质量监督检验中心的代表出席了会议。

会上, 认证委员会秘书处介绍了认证委员会对认证企业的监督审核情况: ①截止到 2000 年 9 月 31 日, 认证委员会对 41 家企业进行了审核及产品抽查, 并向其中 37 家企业颁发了 62 张认证证书。②1999 年, 我国轮胎产量为 7 278.2 万条, 其中子午线轮胎产量为 2 295.5 万条; 已认证企业轮胎产量为 5 466 万条, 其中子午线轮胎产量为 1 628.2 万条, 分别占全国轮胎产量和子午线轮胎产量的 75.01 % 和 70.96 %, 同比增长 22.00 % 和 7.50 %。③2000 年第 1~3 季度完成认证监督的 26 家企业的产品抽查(80 个样品)结果是, 样品检验合格率为 95 %, 比 1998 和 1999 年分别提高 4.00 % 和

1.19 %; 1999 年第 1 季度, 国家对 16 家企业(其中 13 家认证企业)的 70 和 60 系列轿车子午线轮胎产品抽查的合格率是 100 %; 2000 年第 2 季度, 国家对 18 家企业(其中 15 家认证企业)的轿车子午线轮胎和轻型载重子午线轮胎产品抽查(34 个样品)的合格率是 100 %。这说明, 轮胎认证企业在我国轮胎产品产量和质量提高上起到了相当重要的作用。

监督审核情况也反映出轮胎企业还存在管理不严的问题。加强和完善内部监督管理机制、真正做到产品质量管理有章可循和有法可依是近期轮胎企业质量管理发展的方向。

会上, 认证委员会对 ISO 9000 族 2000 版标准的实施进行了宣传和贯彻, 上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司、广州珠江轮胎有限公司、河南轮胎股份有限公司、安徽开元轮胎股份有限公司和双喜轮胎工业公司 5 家认证企业就 ISO 9000 标准的实际应用经验进行了交流。

与会代表一致认为, 随着我国加入 WTO 日期的临近, 居行业主导地位的轮胎认证企业要做好技术储备, 共同迎接挑战。

(中国轮胎产品认证委员会秘书处供稿)