

有限元分析在轮胎设计中的应用

Richard Sturt

(Ove Arup & Partners, 英国)

摘要: 计算机仿真为轮胎设计带来了革命性的发展。有限元分析新技术,如 LS-DYNA 力学分析软件在轮胎设计中的应用,可以用虚拟样胎代替实物测试,缩短了新产品的上市周期并可大幅度减少开发费用,同时可为汽车生产厂提供详细的数据,从而满足整车设计工程日益提高的要求。

然而直到最近,也不能完全像实际试验那样来仿真轮胎试验。轮胎模型的困难包括:轮胎结构的复杂性、轮胎内部的大变形、经常变化的接触条件和为了追踪轮胎在试验面上转动几圈所需要的大计算量。有限元节点的高级性能(如 LS-DYNA)和现代计算机的强大计算能力相结合提供了理想地模拟轮胎试验的可能性。

中图分类号: TQ336.1 文献标识码: B 文章编号: 1006-8171(2001)03-0143-03

轮胎模型对于车辆设计开发人员非常有意义,今天的车辆开发周期已经很短,不允许再用试验方法发现和解决问题,因此只有计算机辅助工程(CAE)才能满足不断提高的设计目标的要求。诸如在碰撞、噪声、振动疲劳等领域中,车辆必须作为一个有机的整体来考虑,而不是将车体、悬挂系统、发动机等孤立起来看待。这就促进了能够对整个车辆系统性能进行评价的计算机虚拟现实模型的发展。汽车零件供应商正面临着为整体系统模型提供其产品的有限元模型的压力。目前,汽车厂家通常是自己建立轮胎有限元模型,但是轮胎制造厂也开始被要求提供其轮胎的有限元模型,并且这种趋势正在增加。本文举例说明了轮胎模型的应用。

1 滚动轮胎模型

轮胎制造商利用滚动轮胎的有限元模型来评价和提高他们的设计水平。滚动轮胎的有限元模型可以用来评价轮胎在不同载荷下的响应、断面变形、侧偏角和操作性能,还可以计算轮胎在障碍物上滚动时的应力和应变,对轮胎的耐久性进行预报并提供解决方案,并可为整车性能的优化提供数据。

2 软件选择

本文中提到的模拟是在 Ove Arup & Part-

ners 机器上用 LS-DYNA 软件进行的。这是一个非线性有限元软件,它可以用于大位移、大应变和复杂接触条件下的分析,例如汽车碰撞和金属加工过程的模拟。该软件有一个多达 90 多种材料的材料库,适合于金属、橡胶、塑料、泡沫材料、复合材料甚至是流体的分析。它明确的时间一致性程序架构避免了进行模型详细分析时由于单元数目巨大而需要求解大矩阵的逆矩阵问题。

3 模型结构

一个载重轮胎的模型图包括 13 000 个单元。胎面和胎侧采用转型单元,胎体采用壳单元。每个壳单元都是由代表内衬层、帘布层、过渡胶层、缓冲层、胎圈包布层等的 10~15 层所组成,每层都定义了刚度和转角。这种“层合壳”的优点是可以减少单元的数目,从而缩短程序运行的时间;缺点是引入了在断面厚度方向上随厚度而分布的应变的假设。

研究人员正在创建更加详细的模型,模型中每一个刚性层(帘线层、垫胶层等)都单独地划分成一层壳单元,而两者之间的橡胶层划分成砖型单元。这种方法也正应用于胎冠的划分。经过这种进一步地细化后,模型的单元数目可达到 100 000 个。每一个进步都可以提高结果的精确度,但却延长了对模型的求解时间。

路面采用刚性的平面来模拟。在本例中,摩擦因数用一个简单的库仑因数代替。

4 载荷和边界条件

载荷和边界条件的定义如下:

® 轮胎垂直放置(没有侧偏和滑动),轮胎和路面之间有一个小的间隙。

® 施加内部气压和外部载荷,得到静态的结果。

® 施加向前的运动,速度从零逐渐加速到规定速度。

® 施加滑动角度、侧偏角度和路面上的障碍物约束。

在轮胎的前进方向上有一个高度为 25 mm、角度为 30° 的障碍物。另一个例子是轮胎以恒定的滑动角度前进并逐渐提高它的侧偏角。

5 结果举例

我们研究了在接地面处的横向剪切应力,接地面的倾角为 2°。正如经典的轮胎理论所述,在轮胎接地面中心偏后的位置有应力集中,导致自回正力矩的产生。

对汽车轮胎在一定的滑动和侧偏角范围内侧向力的预测及试验结果见图 1。出于保密的原因,图中没有给出侧向力的真实值,只给出了侧向力与侧偏角的关系曲线。轮胎的主要操作性能体现于外倾角,侧偏操作刚度的大致趋势可以由图 1 中线的斜率表示出来。在所得到的关系曲线中也有些缺陷,例如在较小的侧偏

角时对滑动刚度的预测不是很准确;当侧偏角为 30° 时,试验曲线上有一个斜率的变化,分析中也没能预测出来。然而,在如此短的时间内取得这样的结果还是很令人鼓舞的。可以相信,预测值与试验值之间的一致性可以通过对轮胎模型进行细化和更好地模拟轮胎与地面之间的摩擦加以提高。

6 整体车辆系统模型

汽车制造厂正越来越多地利用有限元模型来预测整车的碰撞和耐久性能。这与汽车制造厂并没有直接的关系,但汽车制造厂商正在逐步要求其配件厂提供有关配件的有限元模型,从而可以将它们直接引入整车模型中。能够提供在整车系统模型中工作良好的轮胎模型,将成为一个重要的具有高附加值的服务,这是轮胎制造厂所期望的。因此,了解一些轮胎模型的用法是必要的。

近几年来,在碰撞性能的试验中,早已将轮胎性能考虑到了整车系统中。在与可变形障碍物的撞击试验和尾部撞击试验中,轮胎和轮辋成为从障碍物到汽车前梁之间的重要的载荷缓冲线。传统的轮胎模型非常粗糙,然而,随着对试验结果精确性要求的不断提高,人们对轮胎模型更加注意。轮胎制造厂应在如下 3 个方面提供帮助:

® 提供轮胎在充气状态下的外表面几何尺寸。

® 提供轮胎的整体刚度和有效厚度,以便将轮胎模型化为单层的正交各向异性的壳单元。

® 提供在 0 ~ 100 kN 载荷下轮胎的载荷与轮胎整体的变形曲线。

将轮胎有限元模型应用到汽车耐久性分析中是一个新发展。其目的是预测轮胎在障碍物(如凹处、路缘、路的表面凸起等)上运行时作用于汽车悬挂系统和车体上的反作用力。模型内部的应力可以进行动态预测并将其用于轮胎疲劳寿命的检测,也可以用来计算由于一次超载而造成的永久性损坏。在这类应用方面,轮胎的刚度是影响预测结果准确性的重要因素,最

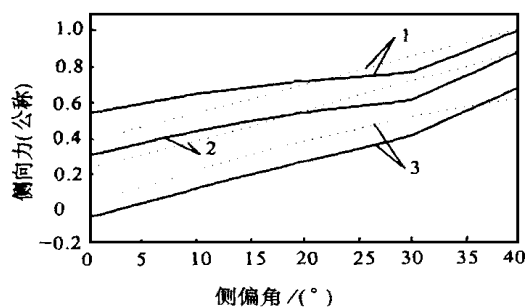


图 1 侧向力与侧偏角的关系曲线

1, 2 和 3 为接地面倾角分别为 2°, 1° 和 0° 时的关系曲线;
实线为实际试验值, 虚线为预测值

好使用类似轮胎滚动模型的精细的轮胎模型。然而,一辆汽车至少有 4 条轮胎,这种整车模型的模拟计算将花费特别长的时间以至于在目前的计算机上还不能进行。人们找到了在不牺牲太多准确性前提下的简化模型。这要求轮胎制造厂的输入数据十分可靠和有效,并且轮胎模型足够细化,以胜任在各种障碍物情况下预测轮胎的载荷下沉量曲线。这就可以满足两个目的:可以用简化的轮胎模型校正具有一定准确度的计算,同时可以作为轮胎的几何尺寸和刚度性能预测的信息源。

7 结论

滚动轮胎的有限元模型为缩短轮胎新产品

的开发周期和减少轮胎试验费用提供了令人激动的机会。汽车制造厂也对轮胎的有限元模型越来越感兴趣,轮胎制造厂也必须提供轮胎的详细信息以满足汽车制造厂的要求。

本文中提到的许多分析技术正不断地在研究部门得以证实。与试验结果相比较,预测结果至少在某些方面是可以令人信服的。

我们至少可以得到两个清晰的结论:一是滚动轮胎的有限元模拟将成为轮胎设计中不可分割的部分;二是有限元分析技术将成为商业成功的一个基本要求。

(王传铸 陈 勇摘译 冯希金校)

译自英国“Tire Technology International
1998”,P34~39

台湾轮胎工业近况

中图分类号:TQ336.1 文献标识码:D

马来西亚《轮胎人》2000 年 31 卷 5 期 6 页报道:

近年来,台湾岛内轮胎内销市场饱和,大厂之间的竞争日趋激烈,利润下降。再加上为顺利加入 WTO,政府将进口轮胎关税大幅度下调,造成海外低成本轮胎得以大量进入台湾市场,加剧了轮胎业者的竞争,也促使当地厂商纷纷转向东南亚和中國大陸等地发展,以降低人

工及原料运输成本,提高产品的竞争力。

目前,台湾生产汽车子午线轮胎的公司有南港、泰丰、正新、台湾普利司通及台湾固特异,生产汽车斜交轮胎的公司除上述 5 家公司外,还有华丰、建大。

1998 年,台湾汽车子午线轮胎的产量为 1 115.4 万条,同比增长 8.14%,销售量为 1 142.3 万条,同比增长 8.40%;斜交轮胎的产量为 427.9 万条,同比增长 3.57%,但由于市场供大于求,销售额反而有所下降(见表 1)。

表 1 近年台湾汽车外胎产销情况

年度	子午线轮胎			斜交轮胎		
	产量/万条	销售量/万条	销售额/亿新台币	产量/万条	销售量/万条	销售额/亿新台币
1992	596.7	647.7	64.63	347.9	336.4	34.09
1993	673.5	767.7	64.09	338.1	339.5	33.08
1994	759.4	792.3	77.62	362.7	376.8	34.88
1995	874.3	881.7	87.73	343.7	357.5	34.82
1996	954.9	976.8	93.44	377.5	381.0	32.52
1997	1 031.4	1 053.8	100.17	405.9	409.1	33.32
1998	1 115.4	1 142.3	113.41	422.9	423.7	32.54

目前,台湾轮胎工业面临的主要问题是劳动力不足,特别是生产线员工最为严重,造成工资成本上扬,运营成本提高。另外,台湾主要原料——NR 要依赖进口,易受季节、气候、汇率等因素的影响。近年来,台湾岛内轮胎业者纷

纷到中国大陆和东南亚设厂,造成技术和资本外流,由于东南亚和中國大陸工资较低,使产品能以较低的价格打入国际市场,因此对岛内轮胎工业的发展造成了一定的冲击。

(涂学忠摘编)