

轮胎的设计与发展

吕寿生译 刘大众校

这是有关轮胎技术论文两篇中的第一篇,它主要讨论新的计算机模拟技术以缩短开发时间,扩大分析范围,它可能在轮胎的任何物理试验前,导出轮胎性能的预测。某些方法已被提出,但不是所有轮胎制造厂应用同样的技术。第二篇将讨论轮胎的结构和材料。

1 最近几年在轮胎发展过程中发生的变化

根据普利司通/费尔斯通轮胎公司的研究与工程部长 J. D. Walter 的说法,轮胎开发过程在现在是为“纸上”汽车开发“纸上”轮胎。现在的汽车制造厂一般要求轮胎制造厂在投产前 16 个月到 5 年的时间就参与车辆开发计划。虽然工程师们正按照仍在生产的 1992 年型车的计划工作,而车辆的计算机模型正向轮胎制造商提供远在 1996 年的车辆生产数据,以使轮胎性能更好地与车辆特性相匹配。这种在设计初期就将轮胎制造商考虑在内的观念上的变化正在加快进行。这样较早的共享信息,意味着在将来的规划中车辆投产以后得以减少一些问题。

促使轮胎发展的动力来自汽车制造厂的配套要求。具体参数可能是车辆的类型和重量、滚动阻力值、轮胎使用寿命、牵引力水平、轮胎重量、回正力矩、转弯系数和噪声水平等。不同的观点、选择和要求决定这些参数与其它参数的重要性。在北美市场,降低内在噪声、改善胎面磨损和降低滚动阻力正推动着发展,同时乘坐舒适性和操纵性间的平衡在近几年已变得更为重要。在欧洲,操纵性是多年来的重要问题,然而对噪声和滚动阻力,即使在油价相当高的情况下也不太强调。由于技术要求的提高,使试验和计算机模拟正在发展,开发过程的时间正在缩短。在轮胎开发与试验过程中需测量的参数列于表 1。

轮胎胎面花纹设计方案建立后,将最初的方案草图输入计算机网络 各种计算机软件程序,例如 ALIAS 用于设计轮胎轮廓、胎面花纹和胎侧模型,以便进行图形分析。在固

表 1 轮胎试验测定参数

ATE	抗臭氧性
气密性	RSAT
回正力矩	瞬态响应
胎圈耐久性	转/英里
胎圈气密性	乘用舒适性
制动振动	轮胎侧移
抗冲击性	路面耐久性
爆破	滚动半径
胎体耐久性	滚动阻力
花纹崩花	抗漏气性
锥度	盐腐蚀
裂口	振荡
道牙伤	胎侧撕裂
割口增长	破裂
耐切割性	冰雪地牵引性
DOT 耐久性	弹性刚度
DOT 压穿	稳定性
变形	驻波
外形尺寸	静负荷半径
干路面牵引性	驾驶操纵性
耐崎岖性	夹石子
耐疲劳性	转向扭矩
接地印痕	沿轨行驶性
油耗经济性	牵引性
花纹沟侧滑	胎面压力
胀大	胎面接合
操纵性	胎面磨损
颠簸	Twin roll
高速性	UTQGL 牵引性
湿滑性	UTQGL 胎面磨损
不规则磨损	振动
J-turn	耐天候性
侧向力	湿路面操纵性
最大侧向 g	磨损胎噪声
向中感觉	制动摆动

特异轮胎与橡胶公司,二维的胎面花纹开发以后,初选的胎面花纹方案由计算机送到一个 CATIA(计算机辅助设计的三维交互作用式)系统,由有限元 FEA 建立模型,然后应用 FTA/CATE(计算机辅助胎面花纹分析)软件分析噪声和接地印痕压力。最后,在各种路面条件下进行计算机模拟的车辆试验。

2 胎面花纹设计

在应用固特异轮胎公司的 CATIA 以前,胎面花纹原始图纸由工程师绘制,然后再由计算机系统重新绘制,但现在的设计是通过电子技术。CATIA 软件作为分析设计的一种工具将经验和知识建立在模型系统中。胎面花纹设计图布置在轮胎腔体的外壳上并扫描 360° ,形成环形用以描绘轮胎的外部轮廓,这一过程叫设计绘图,它类似于取一个花纹轮廓图放在一个球体上。

胎面花纹的噪声可由一种计算机程序来模拟,它将设计数据转化为噪声。通过控制胎面花纹形状和节距排序改变由胎面花纹产生的噪声。 $200\sim 800\text{Hz}$ 的频率是胎面花纹设计的通常结果。花纹形状和节距排序的随机组合变化连续进行,直到取得降低结构和空气产生的噪声的效果。随着有关法规的制定、发动机消声器的内在要求和电动汽车的采用,轮胎噪声的降低已日益成为重要问题。

过去轮胎模型是由一个石膏模型雕刻师雕刻设计而成,即使设计者在图纸上已大量详细地描绘了设计图,但只能基本上取决于

雕刻师的理解判断来生产这个模型。应用计算机数据,所有模腔沟槽都能很精确地确定。

例如 CATIA 系统的软件也能引导刀具进入试验轮胎毛坯来雕刻胎面花纹。轮胎的物理性能试验数据与数据库进行比较,计算机模型经过修改,形成一个改进的轮胎性能预测模型。

轮胎设计完成以后,计算机数据引导刀具雕刻生产轮胎模型。制造时要确定加工模型的每一种沟槽所需的刀具,这些刀具是由数据来控制的。轮胎模型环形体是由车床加工制造的,然后在铣床旋转雕刻整个 360° 轮胎模型。某些复杂的轮胎模型用老法加工是很难的,而且是不现实的,现在应用新技术则更容易生产。

新的计算机工具是不断改进数据库的一部分,使用它轮胎公司不必制造轮胎就能创作、设计、制造、试验分析各种设计模型,这样既可节省时间和费用,同时又能考虑更多设计方案。

日本横滨轮胎公司开发轮胎过程的示意图见图 1。

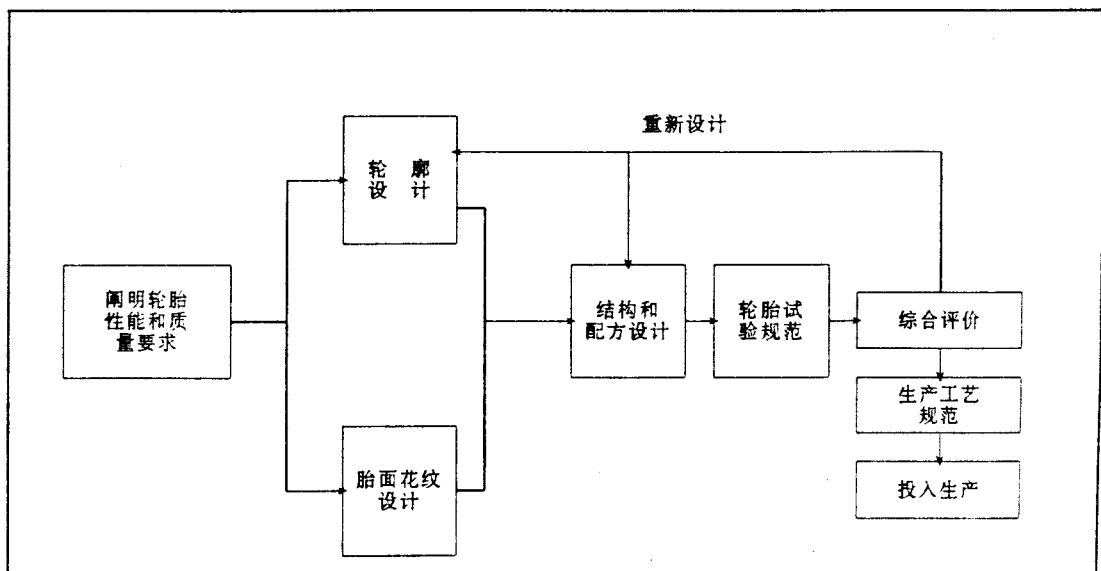


图 1 横滨轮胎公司轮胎开发过程示意图

3 工艺技术

生产轮胎与车辆匹配包括3个基本步骤:即结构分析、乘坐舒适性模拟与操纵动力学。评价结构分析要求将轮胎的几何形状、材料和结构集成到一个复杂的模型中,将轮胎作为一种承担负荷的结构。然后将信息用于乘坐舒适性模拟,即轮胎的动力学怎样影响车辆的乘坐舒适性。这是根据车辆的动力特性去优化轮胎。其中汽车厂与轮胎厂相互协调作用很重要,这是第一个领域。最后一个领域是操纵动力学,轮胎公司实际上包括在车辆发展的过程中,因为汽车厂不能仅用车辆的悬挂设置和动力特性,它还需要轮胎模型。

4 轮胎的结构分析

轮胎结构分析包括使用正在发展的轮胎响应预测,评价轮胎等级,改进设计的工具,进行三维有限元(3-DFEA)研究。在CAD系统中的横断面几何形状决定各种部件的位置、材料的工程特性输入模型中。软件将轮胎的横断面划分成许多小单元并形成三维网格。

轮胎接地处要求有较多的单元,因为这个变化区域是有重要意义的。单元数愈多,计算时间愈长。模型在计算机上需运转20~40小时,因此,应选用适当数量的单元以达到精确的模拟。

当一个轮胎在负荷下变形时,它的应力水平由颜色图来决定。如果应力太高,轮胎的结构需要重建。所有参数是可以改变的,包括模型形状、材料布置或胎体帘布层形状、带束层的形状与尺寸、带束层组件的宽度、胶料硬度和帘线角度等。有限元分析(FEA)用来预测轮胎的耐久性;在轮胎胎圈与轮辋接触区的应力与在帘线中的应力;并优化轮胎的材料与形状等。

很多轮胎公司利用适当的FEA程序作为标准应用软件,例如SDRC-EDEAS软件包,在几小时内预测出应变、滚动阻力和接地印痕压力分布等,且优化所期望的磨损、燃料

经济性,同时保持适当的尺寸与耐久性。FEA的某些功能包括预测充气压力的保持、胎圈与轮辋的配合、爆破压力和压穿力(一种DOT试验)等。轮胎模型与车辆模型相结合时可计算轮胎的反应,从而有助于预测噪声和乘坐舒适性。

乘坐舒适性和操纵性也能从FEA接地印痕形状得到预测。圆形接地印痕说明乘坐舒适性好;方形接地印痕说明操纵性好,圆形接地印痕提供较好的噪声特性,因为相似的胎面花纹块不在同一时间触地,而且接地印痕侧面的胎面拱度不同,因而噪声较小。然而,圆形接地印痕意味着胎面磨损较快,因为与轮胎的肩部相比,较大的负荷集中在轮胎胎面中部。接地面积产生大的压力梯度是不理想的,因为它形成不均匀的磨损。一种降低这种压力的梯度的方法是改进接地印痕形状。

在分析胎面花纹与轮胎轮廓时,化学家也在工作。胶料化学不象计算机那样精细,但需要大量的物理试验。然而通用轮胎公司与一个软件商合作,已经开发一种计算机软件来研制新的橡胶胶料配方。这一软件包括一个由专家制定的知识库。应用目前高效的计算机程序可减少开发时间和所需的实验室重复试验。选一些胎面胶料,分析其滞后与疲劳特性,屏幕显示所需的结果。

5 乘坐舒适性模拟

在确定轮胎结构反应特性以后,必须与车辆匹配。如果底盘与轮胎有相同的振动特性,轮胎可能符合设计标准,但它们不匹配。

对振动分析,理想方法也是把轮胎划分为许多单元,但与FEA应用的模型不同。其次是轮胎的谐振与车辆不一致时还要进行试验。根据频率分析,确定其基本的或者第一种振动模式(弹跳模式)。理论上各种物体都有无限多的振动频率,但最低频率是最关键的。因为它们需要最小的能量来激励。对振动来说,第一个6阶谐振频率是在150Hz以下

(是乘客能够感觉到的)。某些轮胎共振频率低于 100Hz 时,能够在车内产生隆隆的响声,这些可通过改变轮胎的结构特性避免,例如胎圈的增强。

如果在轮胎开发中,车辆悬架还没有的话,可由车辆制造厂提供一个计算机模型来模拟。车辆制造厂所提供的车辆模型的计算机软件编码可能与轮胎厂的模型不同。轮胎是系统中最富弹性的部件。计算机存储空间对此的存储能力要比整个底盘所需的大得多。每一汽车厂可用不同的设计软件,NASTRAN 是一个例子(NASA 结构分析软件)。如果汽车厂用一种特殊的软件工作,轮胎模型可应用该种软件开发,以减少译码问题。如果兼容其它问题,将联合努力去解决它们并优化乘坐舒适性。

如果轮胎与底盘匹配不好,将考虑其它选择。如果汽车厂的底盘和悬挂系统正在开发,则调整它们比设计一个新胎容易。如果轮胎与底盘完全不相容,则必须另选一个新胎。

6 操纵性的评价

将车辆模型化有助于了解安装在特殊的或典型的车辆上的轮胎的负荷历程。它也是对汽车制造厂的一种服务,不仅提供一种更好的轮胎/车辆系统,而且还有利于提高特别操纵性和磨损性的悬挂设计。

运动学和相关分析是预测车辆的操纵性或轮胎磨损的第一步。计算机模型来自车辆和轮胎制造商。确定悬挂参数测量装置的有效精度需考虑各种变量,如衬套、弹簧和减震器等。影响相关特性的悬挂部件如衬套特性、弹簧参数、压缩和扭转时的阻尼率以及随速度的变化必须确定。衬套特性由汽车厂提供。

安装在一辆仪器车上的一种固定动态设备用来分析它的静态和动态特性,并评价车辆操纵性模型。如果汽车经历太多的颠簸、滚动、滚动倾斜或者车身变形引起悬挂改变,必须调整衬套特性、弹簧和减震器等。

普利司通/费尔斯通与通用轮胎公司应

用 ADAMS(自动动力分析与力学系统)软件来研究操纵动力学。这种软件提供一种与车辆制造商的交流,提供可视的车辆操纵演示,它们满足物理定律,并可确定作用在轮轴上的运动力,也能用这种软件作有限的磨损预测。

固特异公司已开发专用的扩展 ADAMS 模型。象最初一样,它用试验数据来确定轮胎的偏离角、侧倾和瞬态负荷。它也确定准确的侧向力、回正力矩,判断新胎是否符合或超过一个对比样品胎的操纵性能。

7 今后的发展

在室外轮胎试验中有大量所谓“噪声”,即干扰存在。因而,在温度、路况和驾驶员条件等许多因素变化时形成的试验结果,有必要加以统计平均。通过进行室内机床试验,这些变化因素能够受到控制。一位普利司通/费尔斯通轮胎公司的专家相信轮胎试验从室外进入室内是下一步的发展趋势,甚至在将来有可能免除室内试验,而代之以用计算机模拟任何试验。但目前还没有汽车制造厂单独地依靠计算机数据。现在到本世纪末期间将会有许多进展,但通用轮胎公司的轿车和载重车子午线轮胎发展部经理 Raymond J. Labuda 不相信物理试验会全部取消。

普利司通/费尔斯通轮胎公司已成功地开展噪声预测,并试图将某些道路试验变为室内机床试验来模拟磨损。希望在 1992 年第二季度完成第一步研究工作。此外,公司还有一个由 CAD 噪声程序发展的 CAD 磨损程序来预测由绝对磨损率和不规则磨损产生的噪声。

首先要克服某些障碍。要在一个三维滚动的轮胎上确定每一个单元上的压力和滑移的影响,要有强大功能的计算机来实现。由于存在许多影响磨损的因素,如:车辆的配置状况、悬挂的定位安装、轮胎充气压力、路况与环境温度等,因而,计算机预测胎面磨损还未

(下转第 6 页)

(上接第 10 页)

实现。目前只有少量开展模拟的尝试。但模型仍需要改进,包括减少所需的计算机存储容量和考虑所有变量的影响。第二篇论文将综述轮胎从新设计和新技术发展中所获得的利益。重点将讨论满足汽车厂和政府管理法

规所提出的更高要求而发展的新材料和新结构。

译自《Automotive Engineering》,
100[6],21~25(1992)