

专论综述

轮胎开发技术发展趋势——
子午化科学化高投入

黄世权

(贵州轮胎厂 550008)

摘要 国际上轮胎开发技术的研究是以橡胶复合材料力学、有限元分析及电子计算机等现代科学技术为手段,以子午线结构为目标而展开的。本文以翔实的资料列举一些大轮胎公司竞相加大开发经费投入的情况,高投入获得高产出,提高轮胎技术含量和产品附加值,推动企业名牌经济效应。

关键词 子午线轮胎,研究与开发,设计理论

汽车工业每年需要数以亿计的轮胎。据有关部门预测,未来10年将迎来世界汽车工业大发展。我国汽车工业振兴计划亦已制定,轿车进入家庭已不再遥远。国内外两个市场对轮胎有巨大的需求,而且我国是公认的最具潜力的大市场。

目前世界轮胎年产量超过9亿条。在激烈的竞争中,只有品质优良的轮胎才能赢得市场。产品的生命在于创新,创新来自开发,只有开发先进的技术才能赋予产品新的品质,满足求新求好永恒的心理需求。国际轮胎工业发展进程表明,轮胎企业寻求发展,必然加大投入,在建设经济规模的同时,科技开发费用日益增加。国外许多企业每年以销售额的2%—3%甚至更高的比例投入产品开发,以现代科学技术指导,缩短周期,推出一代又一代新名牌,开拓市场,提高产品附加值。对我国轮胎企业来说,分析和借鉴这些经验,寻求新的机遇和发展,是一项现实的课题。

1 国外轮胎开发技术的特点和投入

1.1 子午化

子午线结构轮胎以其舒适、耐久、安全、节能的优点,成为取代斜交结构轮胎的换代产品,是轮胎工业新技术的标志。西欧100%完成了换代过程,美国和日本子午化率分别

为87%和95%,韩国也已达83%以上。预计本世纪末我国子午化率可达30%。

国外轮胎开发技术的研究是围绕子午线轮胎而展开的,斜交结构时代的自然平衡轮廓理论已不适用。普利司通1985年提出新的设计方法——最佳化动态轮廓设计理论,开创非自然平衡轮廓设计的新天地。住友、横滨、东洋等日本公司也相继推出各自的设计理论,根据有限元分析提供的信息,对轮胎各种相互矛盾、相互制约的功能因素提出处理方法。企业间相互竞争,推动开发技术达到较高水平。就产品而言,子午化、无内胎化、扁平化是三位一体在发展。在西欧、美国、日本市场上,65,60,50甚至更低系列已经上市或已在开发。轮辋由13,14英寸回升至15,16英寸甚至17英寸;轮辋直径回升和轮胎扁平化是相辅相成的关系。

在国际轮胎市场上,米西林、普利司通、固特异三足鼎立,大陆、皮列里、住友、横滨、东洋等公司都具群雄割据实力。它们有生产力(年产千百万条轮胎)强大的工厂,有代表本公司技术实力、体现企业设计方法和独特技术的名牌产品,在不同时期起着领导潮流的作用。例如,米西林的TRX(Tension Repartic X,应力分散子午线轮胎)和XFE(X-radial, Fuel Efficiency,燃料效率高子午

线轮胎,或称“绿色轮胎”)轮胎;固特异的NCT (Neutral Contour Theory,平衡轮廓理论)和“新和生存”轮胎(双胎面设计并掺入聚苯乙烯、超高耐磨性),其中后者获得举世瞩目的1992年度美国工业产品杰出设计(IDEA)金奖,一次订货售出40万条;普利司通的RCOT(最佳滚动轮廓理论)轮胎稳定性好、里程高,名噪一时,畅销美、日、西欧市场。大陆EOT (Energy Optimized Tire,能量优化)轮胎,住友的无接头带束层轮胎,皮列里的零度角带束层轮胎,均具独创。各个公司侧重于某些特定功能,推出一代又一代的新产品。以上仅作例子,不求其全。1985年以来,日本各大公司不甘落后,根据各自产品存在的不足,进行新设计方法研究亦卓有建树,并以其创立的“理论”命名轮胎,推动名牌经济效益。这些理论包括:

(1)最佳滚动轮廓理论(Rolling Contour Optimization Theory, RCOT),普利司通1985年提出;

(2)最佳张力控制理论(Tension Control Optimization Theory, TCOT),普利司通1988年提出;

(3)预应力轮廓理论(Prestress Profile Theory, PSP),住友1987年提出;

(4)负荷下最小应变能理论(Strain Energy Minimization Theory on Loaded Tire, STEM),横滨1988年提出;

(5)动态模拟最佳轮廓理论(Dynamic Simulation Optimized Contour, DSOC),东洋1988年提出;

(6)预应力轮廓——第4代(Prestress Profile——Fourth, PSP-F),住友1989年提出;

(7)动态稳定性最佳接地面理论(Dynamic Stability Optimized Contact Theory, DSOC-T),东洋1989年提出;

(8)综合轮胎技术理论(Integrated Tire Technical Concept, I),大津1989年提出;

(9)同步转向滞后理论(Synchronized Cornering Lag, SCL),横滨1989年提出。

另外,原苏联轮科院也于1989年提出轮胎应力-应变周期优化设计理论(Tire Design Theory Based on Optimization of Stress-Strain Cycles of its Elements, CSSOT)。

未来汽车对子午线轮胎提出了更高的要求:

- 耗油少的节能轮胎(绿色轮胎);
- 寿命长的一车一胎即“终身轮胎”;
- 操纵稳定性好的高速轮胎;
- 防滑、防水和抓着性好的全天候轮胎;
- 重量轻、质量好的低滚动阻力轮胎;
- 舒适性好的低断面轮胎;
- 泄气保用性好的安全轮胎。

面对诸多高新要求,不采用现代科学理论指导轮胎开发,是难以实现目标设计的。

1.2 科学化

三足鼎立群雄割据的世界轮胎工业,在竞争中工艺技术趋向于接近,开发技术水平决定了产品开发速度和品质,关系到市场占有率。现代轮胎开发技术更多地依靠电子计算机和有限元分析技术,并取代部分试验工作,使开发成功率更高、周期更短,即由过去3—5年缩短到1—2年(注意,不是一般新规格的开发)。现代轮胎开发技术由静态的二维应力-应变分析发展到三维、四维的动态非轴对称的应变、能量吸收、温度场、接地状态、转向力、回正力矩、噪声等动态力学特性的模拟,在设计阶段能预报耐久性、操纵稳定性、磨损、噪声、舒适性等。轮胎质量及功能的预报是通过分析模拟轮胎的力学参变量、弹性体的物性及与某些特征值的相关性而获得的。以下择要介绍一二。

(1)以动态轮廓理论指导优化轮廓设计,提高带束层末端张力,使带束层张力分布在中部和末端均匀化,克服轮胎接地面翘曲现象,改善接地状况,提高制动、抗侧滑及舒适性。应用动态轮廓理论,优化应力-应变分布,

重点是带束层末端和帘布层反包端点的应变,提高轮胎耐久性。

(2)计算轮胎部件应力-应变,如果出现局部应力高峰,则调整轮廓、材料分布或结构参数,使应力分布趋于均匀,或控制应变量及应变周期,重点是带束层末端和帘布层反包端点的应变量,使轮胎具有良好的耐久性。CSSOT 理论认为疲劳损坏是轮胎损坏的主要形式,主要是布层间疲劳导致脱层损坏,而不是帘线的疲劳。

(3)模拟轮胎动力学性能,优化轮胎结构,改善操纵性。SCL 理论认为胎面和胎侧转向力的相位滞后越小,对驾驶员指令响应越好。

(4)模拟轮胎稳态行驶和转向时接地状态,优化轮胎稳定性。DSOC-T 理论的特点,是通过结构设计达到预定的接地状态,定量地设计轮胎稳定性。DSOC-T 认为轮胎稳态行驶时接地状态和转向时的差别越小,轮胎的稳定性越好。应力-应变对耐久性的影响不难理解,把轮胎接地状态和操纵稳定性联系起来无疑是轮胎力学认识的深化。

此外,还有通过接地面压力分布和胶料物性预报磨损,通过花纹的沟块面积比、形状、动态下闭合情况及胶料模量、滞后损失、道路条件等预报噪声量级。这样便有可能对轮廓、结构、材料、花纹、胶料尽量多的方案进行比较,实现真正意义上的优化设计。

计算机有限元模拟涉及数学、材料科学、力学(特别是橡胶复合材料力学)、计算机等多学科。经过多年摸索,有限元分析技术已为轮胎科技人员所接受,证明在轮胎结构分析中亦是一种有效的灵活模拟技术,并发展到比较高的层次,成为当今国际轮胎设计技术的主体,在结构设计、结构改进和新型轮胎开发中发挥着越来越大的作用。据专家认为,今后在实际应用中只是如何提高和完善其基本技巧。

轮胎的复合结构过于复杂,多相、各向异

性、大变形、非线性和粘弹性,如何更好求解所形成的非线性联立方程是一个很重要的问题,市场上有许多非线性大程序可供选择和嫁接。橡胶复合材料刚度差很大,经典复合材料力学理论不适用,如何获得材料特性参数也是研究重点。比如,在计算疲劳强度时,由于缺乏帘线增强橡胶基体的有效理论,将单个材料或部件的疲劳强度的计算作为依据是不切合实际的。因此,仅仅有有限元分析技术并不是真正意义上的轮胎设计理论,并不能替代橡胶复合材料力学的研究,亦没有使设计工作纯数学化,还须依靠轮胎工程师的理论和经验,室内外试验验证及参考驾驶员的评价。近10年来国内外注意橡胶复合材料力学的基础研究,不只是为了逐步形成轮胎力学的科学体系,同时也是为了最终实现轮胎科学化设计,为有限元分析确立可靠理论模型与多种特性参数。

轮胎结构分析涉及许多复杂计算,一些大公司正在扩充大型计算机,以满足大工作量的数学运算,如大矩阵的转换和解复杂的模拟方程,设计特殊物性的高聚物,预测噪声级别和轮胎动力学特性。而一些企业出于经济的考虑,则租用计算中心或高校的计算机。

现代轮胎开发技术要求有一支高水平的科技力量,大公司的技术中心一般包括研究部、开发部、工程部和试验中心。1993年笔者曾访问美国通用轮胎公司的研究中心,研究部有40多位具有硕士以上学位的高级研究工程师,其中博士学位有20人。这些高级研究人员从事高层次的课题研究,其中2/3的力量搞计算机模拟技术开发,如应用有限元进行轮胎结构分析,静态和动态的应力-应变、能量吸收、接地状态、噪声,轮胎的力学模拟包括汽车-车轮系统模拟,为超前开发的新车型准备高新技术轮胎。研究部的开发成果直接帮助开发部的轮胎设计师进行工作。

轮胎是汽车车轮中的一个部件,其设计或改进历来从属于汽车的需求。而最近一则

报道,米西林两项最新开发技术:自支撑泄气保用轮胎和电动汽车轮胎,有可能对未来汽车的发展产生重大影响。这种自支撑泄气保用轮胎不需要专用轮辋,便于普遍推广应用,使高速汽车设计找到安全保障。电动汽车减少汽油对大气的污染,这是汽车工业带有方向性的变革,但由于蓄电池容量有限,电动汽车充电后一次里程和发展前景取决于一种滚动阻力极低轮胎的开发。解决这些课题,显然需要开发技术达到目标设计的水平。

现代轮胎开发技术和工艺装备的现代化、自动化同步进入科学化,企业实力和发展层次不同,科技发展战略亦不能一个模式。自主开发,技术引进,或是厂院(校)联合攻关,各有所长。总之,只有创新的企业,才能树立科技企业的形象,领导轮胎技术新潮流,实现名牌经济效益。

1.3 高投入

据报道,国外轮胎公司每年科技开发投入约占销售额的2%—3%,一些鼎立的大公司则在3%以上。“轮胎王国”米西林宣传的口号是“不是生产最高数量的轮胎,而是生产最佳质量的轮胎”。几个大公司轮胎销售额与开发经费见表1。

表 1 1992 年几大公司轮胎销售额与开发经费			
公 司	轮胎销售额 亿美元	开发经费 亿美元	开发经费与轮胎 销售额之比,%
米西林	105	6*	5.7*
普利司通	93.45	4.8	5.1
固特异	81.669	3.348	4.1
横 滨	24.317	1.52	6.2
锦 湖	8.435	0.31	3.6

注:* 估计值。

据报道,德国大陆开发 EOT 轮胎投入 700 万美元,普利司通开发 RCOT 轮胎花费 200 万美元,一些厂家在轮胎生产自动化方面的研究和开发费用高达几千万到上亿美元。

米西林 1963 年在本土建立技术研究

心及轮胎试验场,在西班牙、美国各设一个技术研究中心和一个轮胎试验场,现有科研人员 5000 人,占职工总数的 4.5%。固特异 1984 年以 1.25 亿美元扩建阿克隆技术中心,继后在日本建立远东技术中心,在卢森堡已建立欧洲中心,在法国有第 3 个轮胎试验场。皮列里在意、德、英、美、巴西设有技术中心,有两个轮胎试验场。

普利司通 1962 年在东京建立技术研究中心,目前有 1300 名科研人员,从事高分子化学物理的基础研究、轮胎设计理论、新材料开发试验评价、设备制造等。横滨公司技术研究中心(RADIC)1991 年落成,研究人员 1189 人,据报道该中心给人以大学图书馆的感觉,拥有先进检测设备包括核磁共振仪、30 万倍电子显微镜及各种分析仪器,在展览会偷削一块轮胎胶,亦能分析出胶料的配方组成,分析技术水平由此可见。横滨把技术中心称为“智慧的建筑物”,“培养创造思想的摇篮”,宣称其微妙的光线、先进的设备、舒适的环境以及弹性工作时间能充分发挥人的创造力。锦湖公司(韩国)现已跻身十强之列,1960 年建厂时是名不见经传的小公司,1988 年建成锦湖轮胎技术研究所,面积 50000m²,高科技人员 400 人,1990 年在阿克隆开办分院,形成国内外两个强劲的技术研究中心;扩建光州轮胎厂年产量 1600 万条;实施谷城轮胎厂电脑控制自动化,年产轮胎 1100 万条。韩国轮胎公司名列第 11 位,轮胎研究中心于 1992 年落成,工程费用 2200 万美元,建筑面积 20256m²,科研人员 336 人,研究目标是开发新材料和新一代轮胎及节能轮胎,以摆脱技术开发依赖外国的状态,确保拥有与世界先进厂家同等的技术水平。

2 开发技术与产品增值

企业效益涉及经济规模、管理、市场和售后服务等一系列现代工业设计问题,作为生产企业归根到底要通过产品开拓市场。比如

一条载重轮胎其造型应有力度感,轿车轮胎则以其细腻的花纹和扁平轮廓造就一种速度感。美学和工业技术结合,外形和内在品质和谐统一。一个乌黑锃亮、具有时代造型品质优良的轮胎,使用户有安全感,更能呼唤用户心理要求而赢得市场。快速、安全、舒适、耐久是轮胎的永恒主题。不同技术含量的轮胎,其市场价格相差悬殊。3 种厂牌轮胎在香港市场的零售价就说明了这一情况,见表 2。

表 2 不同厂牌轮胎香港市场零售价
元(HKD)·条⁻¹

规 格	米西林	普利司通	锦湖
165SR13	300	300	180
185/70SR13	410—504	330	205
185SR14	384—504	300—320	220

国产轮胎售价远低于发达国家:仅为其 1/2—1/3。要使产品增加附加值,提高技术含量是关键一环。据上海轮胎报讯,正泰厂一种以 WA 型组合花纹(WA 为回力英文字头)的轿车轮胎,以其新款设计和全天候性能博得外商青睐而提高售价,仅此一胎就为企业年增值 60 万美元。同时,上海轮胎还以高于一般轮胎 10%—15% 的价格而畅销国内市场。

市场经济推动了竞争,造就了名牌经济效益。有人列举工业设计产生巨大经济效益的例子,飞动的字体、带曲线的异形瓶子是工业设计赋予可口可乐长盛不衰的生命力之一,通过汽车公司首创流线型的车型是一度战胜福特的法宝,日本以其汽车节能显著的独特设计风靡世界市场。“设计立业”获得了巨额利润,因此有人认为国际市场的竞争已演化为设计与科技的竞争。世界市场正是异彩纷呈话设计。设计是产品的灵魂,是产品的龙头,是效益的先导。

产品质量固然和工艺、设备、管理有关,但先进的设备用来生产老产品只能保持老水平,只有开发先进的技术才能铸造产品的新水平,跨上新档次。开发先进的技术和经济规

模是企业腾飞的两翼,研究与开发是市场竞争的尖兵。根据国际工业化进程的经验,许多专家大声疾呼要改变我国工业设计落后的状况。大量信息表明,90 年代中国工业应以设计为突破口,实现由速度型向质量效益型、科技先导型、资源节能型的转变。

3 国内开发技术现状及发展

面临复关和与国际市场接轨,中国轮胎工业面临严峻的挑战和难得的机遇。我国子午线轮胎生产经过漫长的摸索,近几年有较快发展,子午化率 1991 年为 5%,1992 年为 7.5%,1993 年为 11%，“八五”末期可达到 26.7%。我国子午线轮胎生产技术处于第 1 代(有内胎)和部分第 2 代(无内胎子午线轮胎)水平上,极少数开发扁平比较低的第 3 代子午线轮胎。设计技术大多处于传统方法,提供的信息很少。少数龙头企业在局部设计计算上向定量化方向探索。

由于子午线轮胎的优点及汽车和高等级公路的发展,国内外两个市场对子午线轮胎的需求将与日俱增。而国内大多数企业困扰于资金、管理、技术等原因,子午线轮胎起点不算高。引进技术是权宜之计,国产化技术有待提高,出路在于消化后创新,而创新源于有自己的观点和分析技术。当人家已进入定量设计时,我们仍囿于传统方法,反复试验摸索,处于一种类比设计阶段,在开发速度及产品档次方面都处于被动地位。

当前困惑设计工作的问题是缺乏定量的力学分析。现代工业产品设计方向是轻、薄、小、巧、灵,而传统方法能提供的力学信息太少,产品设计往往片面强调安全倍数,以多用材料求保险,结果功能过剩产品重量增加,生热高综合里程下降,另外,配方若干年一贯制,花纹设计大多相互效仿,难以进入优化。

中国轮胎工业要跟上世界轮胎工业的步伐,不可忽视开发技术的研究。龙头企业要意识到基础工作的重要,聚集一些数理功底扎

实的本科生、硕士生从事新设计理论的研究,形成有本企业特色的设计方法,比如充气尺寸、水平轴位置、安全倍数、带束宽度等的计算预报。产品开发成功率要高,周期要短,市场上流行的产品一年内可试制成功并送到用户手中,为企业产品占领市场取得良好的经济效益。

北京橡胶工业研究设计院最近提出低断面轿车子午线轮胎 PDEP 设计理论(Pre-stressed and Dynamic Equilibrium Profile,预应力和动平衡轮廓设计理论),是从传统设计向定量分析设计方向跨出的一步。几所高等院校亦开展了有限元轮胎结构分析的研究。哈尔滨工业大学和上海轮胎公司合作,开展“橡胶复合材料力学特性及子午线轮胎三维非线性有限元分析研究”,1994年8月24日在哈尔滨通过部级鉴定。该系统预报充气状态、非轴对称负荷下的位移变形,预报和实测有较好的一致性;接地形状及压力分布模拟分析,数据齐全,图形直观清晰。这是轮胎静态分析中具有国际先进水平的高新技术成果,对优化结构设计、配方改进、新材料应用有积极作用。国内有3所高校设有复合材料专业,以橡胶软基体复合材料为目标的研究却不多。橡胶复合材料和有限元分析是轮胎力学基础,为最终建立真正意义的轮胎设计理论。

我国轮胎生产已有半个多世纪了,轮胎设计理论的研究被冷落的时间太长,资金投入是一个原因,主要还是社会经济发展阶段的一种现象。近几年来各方面对此的投入和关注是社会经济发展的需求,是中国轮胎工业走向世界面临的课题。有高度科技实力的院校和企业联袂攻关,应该说有能力开发世

界级的设计技术。厂院(校)攻关成果是一个例证,经费的投入成为此项高新技术的推动力。轮胎科技精英激发与世纪相争的壮志,实现设计技术现代化、科学化,圆几代人的科技梦。

据报道,上海轮胎公司投资1.5亿元建设国内一流的上海轮胎研究所,在“世界橡胶之都”阿克隆(美)开设技术公司,吸收精华和信息。公司允诺每年开发经费不少于2000万元,以实现产品开发战略,“生产一代、试制一代、研究一代、构思一代”,在国内是一项创举。

走向世界之路也许很艰难坎坷,但中国的轮胎业既认定了自己的使命,就唯有依靠科学实力和灵活机制;义无反顾地走向市场,跻身世界强手之林。

4 结论

现代轮胎开发技术的研究需要集结高科技人才群体,需要巨额经费的投入。困扰于资金、人才的企业如何实现向科技企业的转轨?由于企业的实力及发展层次不同,自主开发设计技术不是唯一的途径。根据国内外发展经验,引进技术及技术合作亦是可供选择的方式。韩国轮胎工业曾实施“借鸡生蛋”的发展战略。不管是哪种方式都要求组织起自己的队伍,有没有自己的队伍,其效果大不一样。日本丰田公司认为,无论是全面高质量战略还是全面低成本战略,都必须建立在成功的研究与开发基础上。

困扰于资金和技术的轮胎企业,如能想方设法积极启动科技开发的车轮,那么,在新的一轮竞争中必将取得主动。

收稿日期 1994-09-14

征订启事

《英汉橡胶词汇大全》尚有部分余书,现以每本16元的优惠价出售,欲购者请向编辑部索取订单。

《轮胎工业》编辑部