

轮胎结构设计所用计算方法研判

胡立平

(黑龙江省牡丹江市太平路西菜园街牡丹江书画院综合楼 157000)

摘要:简要论述了对轮胎结构设计中所用计算方法的正确性进行研判的基本方法,指出实验验证和逻辑证明是两种有效的基本手段;强调了实验验证方法对优化试验设计方法的倚重,即对逻辑分析的依赖性;阐明了逻辑证明方法的重要性、实用性和经济高效性;重点推介了几种常用的逻辑检验方法,并针对性地给出了具体应用实例剖析。

关键词:轮胎;结构设计;计算方法;实验证明;逻辑证明

中图分类号:TQ336.1+1 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-8171(2013)06-0334-04

不适宜的计算方法是产品设计过程中必须防范的,本文讨论对计算方法正确与否的常规鉴别手段。

1 实验验证

实验验证是最基本的,也是最传统的方法。原则上,在轮胎结构设计中采用的所有计算方法的正确性都必须能够经受严格的试验证明。

1.1 常用的实验方法

众所周知,实验科学是现代科学发展最快的领域之一,而通过实验来验证轮胎结构设计中所用计算方法的准确性,最常用的采集数据方法仍然是直接测量法,但包括无损内部测量等间接测量法的发展更快,应用也越来越多。

传统的测量手段因简单有效仍被大量使用,而光学方法,埋入式应力、应变、温度传感器以及超声波、X光、核磁共振等方法的应用则为更全面地测量轮胎的受力、变形或位移以及振动、发声、生热等创造了可能性和更多的选择途径。

1.2 优化试验设计方法

验证试验必须科学、严谨、可靠,因此原则上需要进行一系列的实验来检验计算方法在各种可能条件下的计算结果的准确性,才能获得正确的研判结论。而对所有可能条件下的计算结果都进行实验验证往往相当困难甚至是不可能完成的,

因此掌握一定的优化试验设计方法是十分必要的,例如正交试验法、优选法、均匀性试验法等,科学地安排验证试验的内容和数量,才能以最少的人力和物力消耗在最短的时间内获得充分必要的试验数据,为研判结论提供可靠的支持。

显而易见,试验方案的优劣不只取决于方案中试验的数量,还取决于其相互逻辑关系。

2 逻辑证明

逻辑推理是人类探索未知世界的利器,也是检验真理的常用手段。逻辑证明甚至还能用于一些实验验证无法检验的对象,而用于计算方法或计算公式的研判有时也更具优势,可节省大量人力、物力和时间等,因而更经济高效。下面讨论几种最常用的逻辑检验方法。

2.1 公理推断法

公理推断法是最直接的逻辑证明方法,直接用定理及其推论进行推导证明。

这种方法特别适用于数理模型及其导出的计算公式的证明,例如拉普拉斯方程、薄膜网络理论及其导出的平衡轮廓公式以及胎体帘线和钢丝圈的应力计算公式、有限元算法模型等。

2.2 演算推导法

从已知的论点或公式出发,通过计算推导过程得出研判结论,广义上也属于公理推断法。相对于较为抽象的证明过程,其简洁清晰的演算步骤更容易被理解接受,因此在工程技术中的应用更为广泛。例如对轮胎胎圈的过盈箍紧张力的计

作者简介:胡立平(1960—),男,黑龙江林口县人,哈尔滨工业大学(威海)汽车工程学院轮胎研究所顾问,高级工程师,主要从事轮胎结构设计理论研究和CAD软件开发工作。

算,国内绝大部分轮胎企业的设计人员都是采用《橡胶工业手册》修订版轮胎分册所推荐的计算公式^[1]:

$$T_i = Ebr\delta_r/(2t) \quad (1)$$

式中, T_i 为胎圈的过盈箍紧张力; E 为胎圈底部材料平均弹性模量,一般为 30~50 MPa; b 为胎圈宽度; r 为胎圈平均半径; t 为胎圈底部材料厚度; δ_r 为胎圈对轮辋的过盈箍紧量。

δ_r 按下式计算:

$$\delta_r = d_r - d_i + 2a(\tan\alpha_i - \tan\alpha_r) \quad (2)$$

式中, d_r 为轮辋标定直径, d_i 为胎圈着合直径, a 为轮辋边缘到胎圈中心的距离, α_i 为胎圈底部倾斜角度, α_r 为轮辋底部倾斜角度。

但式(1)的计算结果往往大大低于实际值。

实际上我国轮胎企业低估胎圈张力的情况较普遍,导致水压爆破试验的结果经常达不到胎圈安全倍数的设计值。当然导致胎圈张力理论值被低估的因素很多,过盈箍紧张力被低估只是其中的原因之一^[2]。下面采用演算推导法找出其算法的问题所在。

式(1)源于环绕材料的张力等于圆环半径与径向支撑强力的乘积,对于胎圈:

$$T_i = rF \quad (3)$$

式中, F 为径向支撑强力,根据式(1)则有

$$F = Eb\delta_r/(2t) \quad (4)$$

式(3)中只有两项参数, r 的物理意义明确,因此 T_i 与 F 正相关。

考察 F 的计算,式(4)可以写成虎克定律的形式:

$$F = E'\epsilon \quad (5)$$

式中, E' 为胎圈底部材料根据受力全宽度计算的表观弹性模量, ϵ 为胎圈底部材料的径向压缩应变。

$$E' = Eb \quad (6)$$

$$\epsilon = \delta_r/(2t) \quad (7)$$

检查式(1)~(7)及相关的计算过程,可以发现 $b, r, \delta_r, t, d_r, d_i, a, \alpha_i, \alpha_r$ 和 ϵ 等各参数的设定和计算都无懈可击,仅剩 E' 和 E 存疑;而 E' 与 E 在此例中的关系也经得起推敲,于是最后仅剩的疑点就落在了 E 上。

常规条件下的 E 被用到不适当的场合而导

致出现问题。下面对此予以剖析。

橡胶-帘线复合材料常规条件下受到一维压缩时会在另外两个维度有所伸张,式(1)中采用的 E 所表征的就是此种情况下的材料属性。但在胎圈与轮辋配合体系中,胎圈底部材料在轮辋着合处的受力变形则截然不同;其受力状态显然不属于简单的一维压缩,因其在另外两个维度的伸张受到限制,其中周向完全受限成为封闭空间不可伸张,而横向因胎圈与轮缘接触一侧受到内压作用而使伸张部分受限。因此其实际压缩模量不仅不可能等于相应的平面层合材料自由压缩模量的理论值或测试值,而且要大得多,可以达到数量级的差别。

显然如果要通过试验测试得到可用于式(1)的 E ,则测试条件必须符合胎圈与轮辋的实际配合情况。如果忽略边际效应,通过理论计算可得胎圈底部材料的压缩弹性模量基本相当于其横向(即经向,帘线纵向方向)的伸张模量,显然与式(1)推荐的 E 可以有好几个数量级的差别。但由于胎圈底部材料宽度很小,边际效应对表观压缩模量影响巨大,且胎圈越窄,边际效应影响越大,实际计算中必须予以考虑。

2.3 因子分析法

因子分析法为逐一分析公式中的各个变量与目标函数的逻辑关系以研判其合理性的方法。

对于经验公式以及未知其属性来源的计算公式,虽然不能直接推导证明,但仍可以秉承逻辑推导的理念检验其内部的逻辑关系,这便是因子分析方法的实质,与公理推断法的精髓相通。如果发现存在逻辑上的矛盾,则可判定该公式存在错误,反之如果相关因子都能够自洽,则可初步确认该公式在逻辑上的正确性,但其准确性还需通过辅助试验进一步确认,此时辅助试验一般用来检验公式中相关常数的可靠性。

下面用一个简单的实例剖析进一步说明。一些专业文献曾推荐一个计算轮胎钢丝圈的内压张力(T)的经验公式:

$$T = P\sin\alpha(R_m^2 - R_a^2)/2 \quad (8)$$

式中, P 为轮胎充气压力, α 为胎体张力作用于钢丝圈的方向与水平方向的夹角, R_m 为水平轴半径, R_a 为钢丝圈半径。

式(8)被一些国际大型轮胎企业列入设计规范作为可以选用的计算公式,是值得商榷的。

从式(8)可以看出,其结构与广泛应用的由充气平衡轮廓导出的计算钢丝圈内压张力的公式很相似:

$$T = P(R_k^2 - R_m^2)/2 \quad (9)$$

式中, R_k 为胎体帘布胎冠顶点半径。

但式(8)中没有对钢丝圈张力影响巨大的参数 R_k , 而括弧项也由式(9)中的胎体帘布顶点半径与水平轴半径的平方差换成了水平轴半径与钢丝圈半径的平方差, 此外还比公式(9)增加了一项校正因子 $\sin\alpha$ 。

对式(8)进行因子分析可以发现, R_m^2 与 T 呈正相关, 即在其他条件不变的情况下, 水平轴越高, 钢丝圈张力越大, 显然与力学分析的结论相悖, 产生逻辑矛盾, 可以判断式(8)是不恰当的。

其实式(8)中由于缺少了 R_k 的效应, 已经暴露了其缺陷, 而且其中 $\sin\alpha$ 项的实际作用也是有问题的, 当然其正确与否都已不影响判定结论。还有与此例极为类似的计算钢丝圈张力的经验公式, 只是将式(8)中的 R_d 换成了轮辋点半径 (R_c), 当然同样也是不恰当的计算公式。

虽然用因子分析法证明式(8)的不恰当相当简单, 但剖析其在实际应用中的迷惑性却别具意义。因为首先式(8)和(9)的计算结果处于同一数量级, 相差不是特别大, 因此相对容易被工程技术人员接受; 其次是我国轮胎行业内仍然比较流行用轮胎的设计结构参数代替充气平衡状态的结构参数来计算各种应力, 从而使按照式(9)计算的钢丝圈张力也会产生误差; 而且尤其需要强调的是, 当采用设计结构参数代替充气平衡状态的结构参数来计算钢丝圈张力时, 不仅使计算精度下降而且极易产生受设计者主观意向影响的有倾向性的计算误差, 例如常见一些产品设计说明书中有“为了降低子午线轮胎胎圈部位所受应力, R_m 取值大一些”等诸如此类的说明, 从而使按照式(9)计算钢丝圈张力的结果变小, 人为地导致计算结果偏低, 而此时按照式(8)计算的相应结果则会随 R_m 值的提高而变大, 导致偶尔也会在一定程度上缩小计算误差; 这大概也是不恰当的式(8)也会被认为的原因之一。

2.4 交互认证法

交互认证法是对同一命题采用不同的算法求解, 对算法进行交互认证的方法。例如对所质疑的计算公式, 如果还有其他适用于同一领域的经验公式等, 则可用它们对同一命题进行计算, 通过结果分析实现交互认证。例如采用不同的单元结构和网格划分形式进行有限元计算, 以验证其解的收敛性和稳定性。

2.5 用解析解验证近似计算结果的方法

虽然在实际工作中原则上凡是能够求得解析解的地方就不需要也不应该采用近似计算方法计算, 但在研究工作中则不失为一种有效的鉴定近似计算方法可靠性的手段。

例如, 轮胎充气平衡轮廓的解析解以及垂直静负荷下的解析解都可以用来验证有限元方法计算的静态分析结果的可靠性。当然对于更复杂的情况, 例如轮胎的非对称受力变形以及动态的应力应变场和温度场的分析等, 由于难以求得解析解而只能采用有限元方法进行近似模拟分析, 因此也就谈不上用解析解验证, 此时可采用第2.4节所述方法验证其解的收敛性和稳定性, 再辅之以实验验证方法确定其算法的可靠性。

3 结语

实验验证和逻辑证明是研判计算方法正确与否的两种基本手段, 二者各自独立又相互关联。

实验验证历来是研判计算方法正确性的重要方法, 未来也仍然具有不可替代的重要性。而要提高其研判效果和效率, 则必须注重对试验内容、方法和过程的逻辑分析, 即掌握优化试验方法的运用。逻辑证明也是研判计算方法正确与否的重要方法之一, 因为逻辑推理也是检验真理的有效手段, 而且往往更经济、高效。逻辑证明所用的定理和定律大多来源于以往大量实践经验的提炼, 因此两种研判方法存在天然的相互联系。

根据具体情况, 既可以采用一种方法进行研判, 也可以两种方法联合使用。取舍的依据为保证研判获得正确结论并使研判过程的成本最低。

参考文献:

[1] 梁守智, 钟延堃, 张丹秋, 等. 橡胶工业手册 第四分册 轮胎

[M]. 修订版. 北京: 化学工业出版社, 1989: 403.

差较大现象的原因分析[J]. 轮胎工业, 2013, 33(1): 54-60.

[2] 胡立平, 张薇. 轮胎结构设计中常见的计算结果与实测值偏

第 17 届中国轮胎技术研讨会论文

Assessment of Calculation Method Used in Tire Structure Design

HU Li-ping

(Mudanjiang Shuohuayuan Building, Taiping Road, Caiyuan Street, Mudanjiang 157000, China)

Abstract: The basic method to estimate the correctness of the calculation method used in tire structure design was discussed, which pointed out the experimental verification and logic proof were two effective basic approaches. It was emphasized that the experimental verification method was based on the optimal design of test method, namely depending on the logic analysis. The importance, practicality and economic efficiency of the logical proof method were demonstrated. Several commonly used logic test methods were then recommended with specific examples.

Key words: tire; structure design; calculation method; experimental verification; logical proof

普利司通“推进”费尔斯通载重轮胎

中图分类号: TQ336.1 文献标志码: D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com) 2013 年 3 月 21 日报道:

2013 年 3 月 21—23 日在美国中部肯塔基州的路易斯维尔展览中心举办的载重汽车展(简称 MATS)上, 普利司通商业解决方案公司推出“Those With Drive, Drive a Firestone”活动。费尔斯通 FD691 轮胎如图 1 所示。



图 1 费尔斯通 FD691 轮胎

该活动同时重点推出费尔斯通轮胎的技术改进, 这些改进专门针对司机和小型车队业主所渴望的节能、耐磨和耐久性。现代并且长期有效的“F-shield”标志作为活动基础。

“Those With Drive, Drive a Firestone”是对小型企业主的价值观及轮胎本质而言, 有助于推

进用户所关注的能够降低单位里程成本的轮胎特征。这些特征包括:

- (1) 耐磨胶料;
- (2) 节能胎侧设计;
- (3) 节能胎面花纹。

“成为一个可信赖的顾问并且超出小型企业主的需求是我们活动和招牌产品的核心”, 新营销副总裁 Matthew Stevenson 说, “根据客户的反馈, 我们的新产品专门迎合这些消费者的需求——费尔斯通生态产品通过耐长期磨损和节省能耗而使单位里程成本更低, 并且具有优异的翻新价值, 可延长胎体的使用寿命。”

“这些费尔斯通新产品轮胎也反映了我们产品开发周期的缩短, 将更新更好的产品更快地推向市场。”

4 种新品轮胎中的 3 种为 FS591 转向、FD691 驱动和 FT491 全轮位子午线轮胎。普利司通公司表示他们会在不牺牲行驶里程的基础上满足 SmartWay 认证和加州空气资源委员会 (CARB) 对燃油效率的要求。

第 4 种新产品为费尔斯通 FS820 全轮位轮胎, 为高速/非高速公路两用设计。具有强大的牵引力、磨损寿命长和驾驶灵活的特点。

这 4 种新轮胎都具有出色的翻新性能。

(孙斯文摘译 李静萍校)