

无内胎子午线轮胎耐久性的影响因素

Dvaid M. Coddington 著 陶 凌摘译 曾泽新校

无内胎子午线轮胎最为常见的耐久性损坏形式是带束层边缘脱层,严重时会使轮胎在运行过程中产生明显的振动,并最终造成带束层或胎面脱层。无内胎轮胎必须经得起以下各种不利因素的综合影响,才能避免带束层边缘的脱层:

- (1) 在负荷下滚动、转向以及加(减)速运行时产生的周期屈挠应变;
- (2) 较厚胎面-胎肩区域的生热;
- (3) 因轮胎内部受压空气向外扩散而产生的胎体内部空隙和脱层处的压力积累;
- (4) 扩散空气中的氧成分对轮胎结构部件及其粘合处的氧化侵蚀。

在轮胎发展中,这些因素对轮胎耐久性影响的相对大小曾一直是一个重要的问题。在20世纪50年代,当无内胎斜交轮胎推出时,有关轮胎耐久性的研究最初集中在胶料的精炼,纤维补强和最大粘合强度体系及由屈挠、热历程和氧化作用而产生的降解方面。早期的无内胎轮胎气密层是在一般配方中引入 IIR 再生胶来减少一些气体的渗透,使用者需经常检查和调整充气压力。

20世纪60年代初期,一些轮胎公司遇到了轮胎气密层,特别是优级无内胎轮胎的气密层变脆和早期内部脱层问题。优级轮胎的4层(与原有2层比较)胎体和较厚胎面在苛刻行驶或耐久试验条件下会产生高的生热,这使得气密层龟裂和早期脱层损坏。

不久以后,这些轮胎中采用了(50%~70%)NR和(50%~30%)CIIR并用的气密层胶料,改善抗热龟裂性能和降低透气性,以有利于耐脱层。Dudly和Furcos于1961年对无内胎斜交轮胎气密层的研究表明,CIIR

气密层在耐热老化,降低胎体内部压力和改善室内耐久性方面具有良好的性能。

1964年,Banks,Brzenk,Rae和Hwa报道了气体透过轮胎结构的数学模型,该模型使稳定状态的胎体内部压力与气体透过率因数以及轮胎气密层和胎侧/胎面部件的厚度关联。胎体内部压力(一种在无内胎轮胎的帘线区域可测量的压力)将在下面给予解释。表1给出的是轮胎制造中所使用异戊二烯和异丁烯类型弹性体,即:IIR,CIIR和BIIR与轮胎制造中所使用的典型高不饱和弹性体空气和蒸汽透过能力的对比。卤化丁基橡胶(CIIR和BIIR)较好的耐热性来自于它们在硫化中由独特弹性体官能团形成的交联键。

表1 65 时空气和蒸汽透过的相对速率

气密层胶料	气体种类	
	空气	蒸汽
100 %NR	8.3	13.3
100 %SBR	6.8	11.0
60 %CIIR/ 40 %NR	3.1	3.0
100 %CIIR	1.0	1.0
100 %BIIR	1.0	1.0

在20世纪60年代后期,无内胎子午线轮胎被引进美国,最初是从欧洲进口,后来从美国轮胎制造商处购买。一些欧洲轿车子午线轮胎和大部分载重子午线轮胎一开始就使用了全BIIR气密层,以便控制气体渗透,特别是用来控制载重轮胎的高充气压力下的气体扩散,但许多早期的无内胎轿车子午线轮胎采用以NR为基础的气密层胶料。

在把带束层和胎面贴合到胎体上之前要膨胀胎体,因而在轿车子午线轮胎成型过程中,NR优越的成型粘性和生胶强度至关重要。由于子午线轮胎运行时的低生热(相对

于斜交轮胎)和对高不饱和弹性体胶料耐热耐屈挠性能的改进,以 NR 为主体的气密层用在早期美国制造的无内胎子午线轮胎似乎是可行的。

20 世纪 70 年代早期公布的研究论文似乎都把重点集中在当时新问世的子午线结构的应力-应变特性方面。Janssen 和 Walter 通过对轮胎断面的双折射分析研究了带束层子午线轮胎的形变应变响应。这些轮胎断面用一种旋光性胶片处理,然后折射到处于轴负载下在充气轮胎上所测量到的轮廓上。

Kaga 及其同事们使用有限元模型证实了子午线轮胎应变响应研究的轮胎试验。两个研究都发现在带束层边缘集中的剪切应变较高。两份论文强调的重点是分析方法, Kaga 的论文推测所观察到的带束层边缘应变集中“可能引起子午线轮胎帘线-橡胶界面的脱离”。

钢丝带束层子午线轮胎从在带束层帘布上裁剪成斜交帘布角度的制造阶段起,在带束层边缘就具有了额外的敏感性,这一阶段包括钢丝帘布裁断,以及使每一根帘线未镀黄铜的末端表面露出,而镀黄铜的端头则是钢丝和周围胶料之间化学粘合体系的一部分。因此,在带束层边缘就失去了可能的粘合损失点,同时也就产生了剪切应变集中。

曾推测:在使用中,带束层边缘相当快地发生微小脱层,并视其它因素情况不是稳定下来,就是继续扩大。

在无内胎子午线轮胎发展中,当子午线轮胎带束层边缘屈挠敏感性是主要焦点时,从降低空气经由轮胎结构扩散的优点不久就显而易见了。

在 20 世纪 60 年代末以前,美国的数家轮胎公司已使用了降低透气率的 CIIR/NR 并用气密层,并在 70 年代和 80 年代后,世界范围内的无内胎子午线轮胎工业已广泛采用了含 HIIR 的气密层。对于重型载重轮胎和原配优质轿车轮胎,则采用了 100 % 的 BIIR

气密层。

现在让我们来看一看这一趋势的技术理论。

在所有的充气无内胎轮胎中,透过轮胎结构的空气扩散一直持续不断地发生。这是由于气窝内的充气压力和轮胎外大气压力之间的差别而造成的。这个过程在 Banks 等人的论文中已作了详细解释,这里将仅作简单的叙述。

用于扩散目的的轮胎结构由 3 个部件组成:气密层、帘布层和胎侧/胎面外层。当轮胎充气时,贯穿其结构产生一个压力梯度,它在胎体帘布层内和在子午线轮胎带束层内便产生了可测量的胎体内部压力。

根据 Costemalle 最近所述的下列方程,稳定状态的胎体内部压力是透气因数和气密层以及胎侧/胎面有效厚度的函数。

$$P_C = \frac{\frac{Q_L}{G_L} - P_I}{\frac{Q_L}{G_L} + \frac{Q_r}{G_r}}$$

式中 P_C ——胎体内部压力(相对);

P_I ——充气压力;

Q_L ——气密层/胎面的透气因数;

Q_r ——胎侧/胎面的透气因数;

G_L ——气密层/胎面的有效厚度;

G_r ——胎侧/胎面的有效厚度。

所取的大气压为零。

在典型的轿车子午线轮胎中,充气至 200 kPa(表压),使用对比的 SBR/NR 气密层,它所承受的实测的气密层胎体内部压力是 115 kPa。使用 100 % 的 HIIR 气密层将把气密层胎体内部压力降低到 40 kPa。氧化降解中可利用的氧也会相应减少。在气窝中存在水的情况下,潮气的扩散也降低,从而减小了钢丝带束层帘线生锈的可能性,同时也减少了轮胎长期使用中存在的有害物质。

从获得上述胎体内部压力降低的观察报告的研究中,曾对进行室内里程耐久性试验

的轮胎进行了评价,其结果列于表 2。

表 2 气密层透气率对胎体内压和转鼓试验¹⁾
试验耐久性的影响

气密层胶料	平均压力 ^{2)/} kPa	行驶距离 ^{3)/} km
通用橡胶	115	12 650
CIIR/ NR = 50/ 50	95	21 922
CIIR/ NR = 75/ 25	55	25 310
CIIR	40	33 270

注:1) 轮胎耐久性试验机转鼓直径 28.5 cm,负荷 150 %ETRTO标准,恒定充气压力 200 kPa,速度 80 km·h⁻¹;2) 胎体内压升高试验;3) 转鼓试验耐久性(直至损坏)。

这些轮胎的胶料和影响其带束层边缘应变响应的结构部件特征是相同的。测试轮胎所用的小直径(28.5 cm)轮胎耐久性试验机能加强带束层边缘应变程度以便减少表现出其它影响因素的可能性。但还是发现了产生脱层里程数的明显提高与轮胎的胎体内部压力呈反比的关系。

表 2 所总结的方案是过去二十多年来全世界轮胎公司与 HIIR 供应商开发小组共同进行的许多气密层开发方案中具有代表性的方案。在采用降低透气率的 HIIR 气密层的轮胎与采用 SBR/ NR 气密层的轮胎对比的测试带束层边缘脱层的转数里程试验中,这些方案经常显示出明显的优点。在这些试验中,胎体内压形成一直与空气扩散的参数有关。据推断:在最初的脱层中产生充满受压气体的空穴的胎体内压每当它滚过路面和转鼓接触“印痕”时就会被脉冲。这压缩脉冲和氧化侵蚀共同促使了脱层。

Tokita N 等人的论文已论证了氧化降解在子午线轮胎的带束层边缘脱层中确实是一个重要的因素。

Tokita 小组最初是通过指定规格和结构轮胎在路面使用不同时间后研究带束层的抗热撕裂性。该撕裂强度值随着使用里程的提高而下降,最后稳定在初始强度值的 50 %以下。他们发现“一旦撕裂强度降低到一定程度,带束层使用潜力的极限(估计可能是脱层

损坏)就会产生”。

实验室的耐久性试验被设计用来寻找在道路使用研究中的表面氧化降解过程。轮胎充氧 50 %在 77 °C 下运行 20 h,然后再充空气,在 120 °C 下运行 4 h。在此条件下运行 20 周被认为相当于在路面行驶 2 a 约 158 765 km。试验结果显示氧老化 20 周试样的撕裂强度是未老化试样的 34 %~ 38 %;而氮老化 20 周的试样的撕裂强度是未老化试样的 84 %~ 90 %,115 °C 氮老化 110 h 的试样的撕裂强度是未老化试样的 80 %。氧老化的轮胎显示出强度较大的降低,而充氮气的轮胎撕裂强度则损失较少。

Tokita 小组然后设计了一种数学模型,用来研究轮胎和充气变化的影响。进行了一系列实际轮胎室内耐久性试验以与该数学模型所预示的轮胎损坏时间相比较。它们之间的比较结果见表 3。

表 3 氧化对轮胎耐久性的影响 h

组别	可变因素	计算值	实测值
A	标准气密层 *	120	154, 157, 162
B	无外缠绕钢丝	125	160
C	低透气的气密层	300	258, 325
D	损坏的气密层带外缠绕钢丝	30	13, 47
E	损坏的气密层无外缠绕钢丝	104	98, 120
F	充空气	215	240
G	充氮气	600	> 600

注: * 带标准外缠绕钢丝带束层,充 50 %氧气。

该耐久性试验结果与氧扩散过程的模型所预示的耐久性有较大的相关性。Tokita 总结道:“对 BES(带束层边缘脱层)来说,最大的影响是带束层的透气率和厚度;大量的氧透过气密层最为严重。”

Tokita 研究显然没有把胎体内部压力作为轮胎使用耐久性的因素来考虑。但是,耐久性试验结果的定性评价认为:只要有氧气存在,胎体内部压力就是影响轮胎耐久性的一个因素。

无可否认,在无氧情况下(G组),适度的胎体内部压力形成在大于 600 h 时没有造成

任何轮胎损坏。但是,至少在适度氧气扩散(C和F组)条件下,由于“低透气的气密层”降低了胎体内部压力(C),轮胎表现出了较长的耐久性试验寿命。

到目前为止,讨论只涉及到在实验室的耐久性试验产生更严重的带束层边缘应变集中的轮胎耐久性的特性曲线。

已对气密层耐久性的影响进行了观察,但在正常路面使用的较低带束层边缘应变水

平特性上,他们是否也具有意义?

大约在 1980 年,曾对轿车子午线轮胎进行了长期的道路试验,目前已可就此问题发表论文。不同气密层和带束层的轿车子午线轮胎被使用在越野邮政车辆上,轮胎的充气、负荷以及速度条件与正常消费者使用一致。通过轮胎的周期性全息照相分析对带束层边缘脱层进行了监测(见表 4)。

带束层A是对比结构;带束层B是对耐

表 4 轿车子午线轮胎的变化速度路面试验¹⁾

组别	轮胎结构	行驶距离/ km				
		16 100	22 500	32 200	38 600	51 500
A	非 HIIR 气密层,带束层 A	2	7	10	在 32 200 km 时停止	
B	100 %HIIR 气密层,带束层 B	正常	正常	3.5	6	14
C ²⁾	100 %HIIR 气密层,带束层 A	正常	正常	正常	正常	2

注:1)气压 179 kPa,负荷 TRA 的 85 %,速度 88 ~ 97 km·h⁻¹,对试样进行全息照相,确定带束层边缘脱层的级别;
2)在公路使用中又跑了 10 900km 才磨损。

久性较为敏感的试验结构。使用非 HIIR 气密层的 A 组在 16 100 km 已显现出“开始”带束层边缘脱层。这些脱层增长到 32 000 km 时“10”的额定值,对 A 组的监测结束。

使用 100 %HIIR 气密层的 C 组在到达出现开始脱层的里程显示出 3 倍于 A 组的优点,并且一下继续行驶至 72 450 km 胎面磨损而无问题。尽管 B 组轮胎是较为敏感的带束层结构。但 B 组轮胎也优于 A 组。

这个研究证明了子午线轮胎在正常路面行驶的耐久性很大程度上受胎体内部压力和氧降解以及带束层应变变化的影响。使用低

透气率的 BIIR 和 CIIR 气密层以获得最大的耐久性已经得到进一步证实。

综上所述,当子午线轮胎在轮轴负荷下形变滚动时,由于在带束层边缘的剪切应变集中而引起带束层边缘脱层具有特有的敏感性。在无内胎子午线轮胎内,由于充入的气体扩散而引起的胎体内部压力的升高和氧化降解,也是长期转鼓试验和在道路行驶中带束层边缘脱层扩展的重要因素。

译自美国“Rubber & Plastics News 1993
Technical Yearbook”,P79 ~ 82

上海研制出加强型轮胎

为适应高速公路和运输业的迅速发展,上海大中华橡胶厂最近研制出 9.00 - 20 16PR 加强型斜交轮胎。该厂技术人员在保留了原 9.00 - 20 16PR 普通型轮胎工艺配方和设计优点的基础上,对轮胎结构进行了改进和优化。从实验室对比测试所得的数据看,加强型轮胎的各项技术指标均良好,延长

了斜交轮胎的使用周期。

目前,这种加强型斜交轮胎已小批量投放市场,进行实际里程测试。该厂将通过收集反馈信息和对用户的跟踪调查,及时掌握新产品的使用情况,以便进一步完善产品质量。

(摘自《中国化工报》,1998-04-22)