

结构设计

轻载聚酯胎体子午胎的设计和研制

胡幼学 孙 勇

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

孙永贵 于喜涛

(荣成市橡胶厂 264300)

介绍首次采用国产聚酯帘线研制轻载子午胎的一些成功经验。

1 前言

自60年代我国第一辆轻型越野载重车在北京诞生起,经过30多年的艰苦奋斗,北京已成为我国最大的轻型汽车生产基地。

1992年,中汽总公司专门召开了子午胎推广应用会议,这对我国子午胎的发展无疑是一次很大的支持和推动。“七五”以来,我国公路已有了很大发展,新建高等级汽车专用公路4300km,其中一级公路2600km;高速公路通车里程达500km,占公路总里程的0.05%(美国和德国等工业发达国家高速公路里程占1%以上)。1988年我国高级和次高级公路占15.7%,中级公路占23%。到2000年我国公路总长度约为 1.3×10^6 km,其中,一级公路 3.3×10^4 km,快慢分道公路为 5×10^4 km,二级公路 2.42×10^5 km,高速公路2000km以上。

高速公路的发展向我国轮胎工业提出了新的要求。据调查,在沈大高速公路发生的交通事故中,由于轮胎高速行驶(要求90km/h以上),因生热爆破引起的事故占20%。因此提高轮胎的高速性能是当前面临的严峻问题。

轻型载重子午胎(简称轻载子午胎)系列的使用要求是:既有载重子午胎主要载荷的特点,又有轿车子午胎轻便高速的特点。因此,在产品设计上应以满足上述使用性能的双重要求为基本出发点,有针对性地采取技术措施。

2 轮胎的技术与经济指标

化工部(92)化橡轮字第20号文规定,今

后凡申请子午胎新产品技术鉴定的企业,所鉴定产品务必达到下述成品试验指标。

2.1 技术指标

上述文件规定的轻载、轿车子午胎新产品技术鉴定测试项目与指标见表1。

2.2 技术经济指标

(1)节油5%以上;

(2)社会总经济效益比斜交胎提高50%以上。

3 技术路线

3.1 轮胎规格的选择

自改革开放以来,全国汽车工业已形成了8个大集团公司:北京汽车工业公司、东风汽车集团公司、解放汽车工业企业联营公司、中国重型汽车工业企业联营公司、上海汽车工业总公司、天津汽车工业公司等,加上中外合资的汽车集团公司,已初步形成较完整的体系。江西江铃汽车集团被国家列为重要的轻型汽车生产基地,开发生产的江西五十铃N系列双排座轻型载重车具有国际80年代中期水平。西南轻型汽车工业联营公司(生产西南五十铃N系列轻型载货汽车)也被列为我国四大轻型汽车生产基地之一。

轻型载货汽车、客货两用汽车、厢式(面包车)客车在我国用途广泛,原配胎和替换胎的需求形势相当可观。

根据不完全统计(见表2),结合我国汽车工业发展趋势和社会需求,首先选择用量较大的具有代表性的轻载子午胎6.50R16(10PR)、7.00R16(10PR)以及相近的吉普型子午胎P215/75R15作为研制对象。在此基

础上继续开发 6. 50R15 (10PR)、7. 00R15 R16(专用)等轻载系列 7 个规格品种的子午胎。
(10PR)、6. 50R16 (6PR、窄轮辋)以及 6. 50 胎。

表 1 轻载、轿车子午线轮胎新产品技术鉴定测试项目和指标

测试项目	指 标				测试方法	
轮胎外缘尺寸	符合 GB2977、GB2988、GB9743、GB9744				GB521、GB522	
耐久性试验	轻载车子午线轮胎,87h 轿车子午线轮胎,100h				GB4501、GB4502 化工部化橡轮字第20号文附件1规定	
强度试验	符合 GB9743、GB9744				GB6327、GB4503	
脱圈阻力试验	轿车无内胎子午线轮胎符合 GB9743				GB4504	
高速试验	轻载子午线轮胎,130km/h 轿车子午线轮胎符合 GB7034				见 20 号文附件 2 GB7034	
水压爆破试验	轻载子午线轮胎安全倍数>5 轿车子午线轮胎安全倍数>7				HG2186	
X 光检验	符合企业制定的 X 光检验标准				企业自定	
实际使用试验	里程符合 GB9743、GB9744 翻新率>90%				3 个不同地区实际 使用试验结果	
均匀性试验	轮胎类别	速度级别	径向力波动,N	侧向力波动,N	锥度效应,N	见 20 号文附件 3
	轿车子午胎	Q	<200	<140	<140	
		S	<180	<140	<140	
		H	<160	<120	<120	
	轻载子午胎		<200	<140	<140	
	通过率:>70%					

表 2 国产轻载汽车配胎情况

汽车厂	型号	用途	载重量,kg	汽车总重,kg	最高车速,km/h	百公里油耗,L	装配轮胎规格
长春一汽	CA1040	货,单排座(驾)	2000	3970	100	12.5	6.50-16 6.50R16
	CA1046L	货,双排座(驾)	1500	3805	100	12.5	同上
	CA1046L-1	货,双排座(驾)	1500	3845	95	13	同上
沈阳金杯	SY1041	轻载	1500	—	110	13.5	同上
长春一汽	CA1046LF	货,双排座(驾)	1500	3845	100	12.5	7.00-16 7.00R16
北京吉普公司	切诺基	吉普	—	—	—	—	P215/75R15
石家庄征天	SQ6450	轻型客车	7~8 人	2500	112	<12	P215/75R15
西南五十铃 (ISUZU)	NKR552	轻载		1750	—	—	前:7.00R15 后:7.50R15

注:以上摘自《1992 年北京国际汽车工业展览会》有关汽车样本资料。

综合国内外生产和引进车型,第一步我们选用 95 系列(圆形)子午胎。带束层钢丝帘

表 3 轻载子午胎的速度级别

级别符号	速度,km/h
F	80
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
P	150
Q	160

注:按化工部(92)化橡轮字第 20 号文要求,轻载子午胎达到 130km/h,即 M 级。

线和胎体聚酯帘线均选用国内产品,其速度级指标完全能满足表 3 中轻载(或面包)汽车的要求。

3.2 胎体骨架材料

轻载子午胎胎体选用 3 层聚酯帘布(P215/75R15 胎体选用 2 层聚酯帘布)。

3.3 强化轮胎整体强度以适应高速行驶

轻载子午胎具有本身结构特点,使用性能要满足双重要求:一是载重,二是机动灵活车速较高。

3.3.1 增加带束层的钢丝帘线密度

6.50R16 轮胎带束层,以往都采用 2 层 $3+9 \times 0.22$ 钢丝帘布,密度为 5.5 根/cm,强度试验按 100% 计,很难达到额定破坏能指标。如果增加层数,势必要增加胎冠总厚度和轮胎重量,影响高速性能。设计 6.50R15 轮胎时,在不增加带束层层数的条件下,将钢丝帘线密度由 5.5 根/cm 增加到 6.0 根/cm,不但强度达到指标,同时高速性能也达到较高水平,最高达到 200km/h。

其它规格轻载子午胎和 P215/75R15 轮胎采取相类似的措施,高速性能均达到较高的水平。

3.3.2 加固胎圈结构提高轮胎高速下的侧向稳定性

据国内有关刊物报道,有的厂家将轻载子午胎 6.50R16 等规格的胎圈部钢丝加强层取消,代之纤维包布。我们认为 6.50R16 10PR 以上规格轮胎的载荷、车速都较高,为了提高胎圈的耐久性和轮胎侧向稳定性,减少滚动损失,保持胎圈钢丝加强层是很有必要的,如图 1 所示。关于钢丝加强层,国外有的叫钢丝包布(Steel Chafer),有的称胎侧带

束层(Sidewall Belt),有的则叫胎侧稳定层(Sidewall Stabilizer)。顾名思义,目的就是要加强胎圈部位,减少胎圈部位的应变(提高其张力),增强轮胎行驶时的侧向稳定性,即提高汽车的行驶安全性。

3.4 原材料立足国内

在配方设计方面,着重提高钢丝与胶料的粘合性能,适当提高合成胶的用量。采用适合加粗聚酯帘线的胎体配方,并使轮胎整体的定伸应力、硬度匹配合理。原材料立足国内,尤其是根据子午胎引进技术的原材料国产化情况,优先采用新型原材料。

3.5 选用以二次法无胶囊成型为主要特征的工艺路线

轻载子午胎成型工艺及设备选用北京橡胶工业研究设计院云泰公司制造的二次法成型机组,一段为指形正包,杯形辊反包;二段为无胶囊膨胀定型。二段省去骨架胶囊,具有一定的难度。P215/75R15(属轿车子午胎系列)选用引进美国的成型机组,一段为缩合式机头,精度高,成型方法为指形正包,胶囊反包;二段也是无胶囊膨胀定型。该机组用于生产轿车胎已达 3 年之久,合格率较高。

关键部件钢丝带束层采用挤出方法制备,挤出机组是美国 Steelastic 公司制造的,能挤出密度较大的钢丝带束层,自动裁断、接头、包边、卷取。聚酯帘布的压延采用引进的两用压延机,张力可调。

其它生产设备皆为国产。硫化首次用原配 RIB(AB)型硫化胶囊,对定中心、保证轮胎断面左右对称性有所帮助。成品试验除引进了美国孟山都公司的 X 光机组外,还引进了美国阿克隆标准公司的均匀性能试验机组以及高速试验机组,成品检测设备基本齐全。

4 结构设计

4.1 轮胎规格和主要技术参数

轮胎规格和主要技术参数按国标 GB9743 和 GB9744 要求设计,详见表 4。

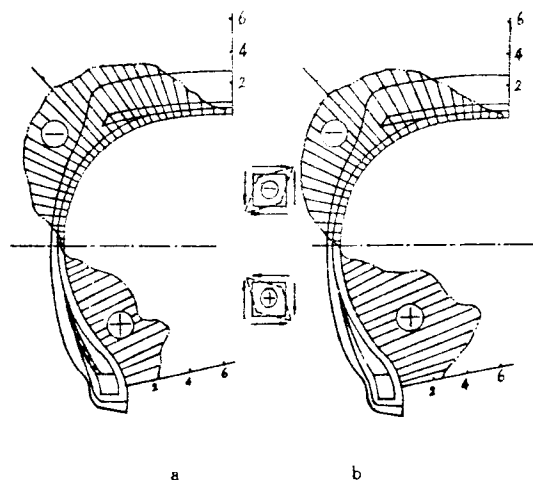


图 1 有和无钢丝加强层时胎圈部产生的剪切应力应变对比示意

a—胎圈部位有钢丝帘布加强层;b—胎圈部位无钢丝帘布加强层

表 4 轮胎规格和主要参数

轮胎规格	层级	标准轮辋	允许轮辋	气压,kPa	负荷,kg	花纹	充气断面宽 (±3.5%),mm	充气外直径 (±1%),mm
6.50R16LT*	10	5.50F	5.00E 5.00F	560	D860 S975	曲折	185	750
6.50R16LT**	10	5JK	5.00E	500	1000	曲折	≤176	742
7.00R16LT	10	5.50F	6.00G	560	D965 S1100	曲折	200	775
6.50R15LT	10	5.50F		550	D920 S970	曲折	185	744
7.00R15LT	10	5.50F	6.00G	560	D915 S1040	曲折	200	750
P215/75R15		6JJ	6 1/2-U	240	790	条块	216	703
6.50R16LT	6	5.5F	5.00E 5.00F	350	725	曲折	185	750

* LT 表示轻型载重胎类,而 P 表示轿车胎类;

** 南汽依维柯车配胎;

胎体:聚酯帘布;胎冠处:钢丝带束层+聚酯帘布。

4.2 提高带束层强度而不影响高速性

轻载子午胎由于充气压力较高(10 层级气压一般为 5.6kgf/cm²),胎体各部受力比轿车胎大得多。如以轿车胎各部受力为 100,则轻载子午胎(6.50R16)胎体受力为 188;带束层受力为 355;钢丝圈为 139。其中带束层相对所受张力较大。为了解决这个矛盾,以往常采取带束层加层的办法(如由 2 层改为 3 层或 4 层),但带来了冠部重量和厚度增加的弊病,影响高速性能。我们在设计 6.50R16 规格轮胎时,没有采取传统的加层办法,而是采取增加带束层钢丝帘线密度的方法,由过去 5.5 根/cm 增至 6 根/cm;相应改进带束层覆胶工艺条件,强调钢丝帘布附胶和接头质量。同时对带束层胶料配方作了较大的改进,保证胎冠带束层整周强度的均匀一致性。因此,不但强度试验达到了额定指标,而且行驶速度达到了 200km/h 的较高水平。其它规格也采取了类似的措施,均获得较满意的结果。

4.3 优选平衡轮廓设计并参考 TCOT(最佳张力控制理论)的基本原理提高轮胎断面最宽点水平轴的高度

平衡轮廓按下式计算:

$$Y = \int \frac{(r^2 - r_m^2)dr}{[(r_k^2 - r_m^2) - (r^2 - r_m^2)^2]^{1/2}}$$

式中 r_k ——轮胎胎里半径;

r_m ——断面最宽点半径;

r ——断面任意点半径;

Y ——任意点的 $\frac{1}{2}$ 内轮廓断面宽。

结合聚酯帘布胎体较人造丝胎体膨胀大的特点及实际和使用经验,从多个平衡轮廓曲线中优选较适合的尺寸,进行外轮廓及施工设计。并参照 TCOT 理论的论点,即将胎侧张力分散到胎圈和带束层,同时提高胎圈和带束层的张力,以减少胎侧区的张力,使胎圈区变形减小,变形方向趋向轮辋,增加垂直应变。尤其是要减少胎体帘布包边差级处以及带束层帘布端点的应变。这样就减少了剪切生热、剥离和滚动损失,从而提高了轮胎耐久性。根据以上指导思想,设计时将轻载子午胎的断面水平轴高度逐步提高(详见表 5);同时相对减小上胎侧的厚度,使之相应曲率半径减小,应变集中在上胎侧。新设计轮胎配以合理的施工设计和配方,耐久性试验都达到了鉴定指标。

4.4 优选胎圈包圈方法和钢丝圈结构提高钢丝圈强度利用率和安全倍数

文献资料和实践都表明,钢丝圈的强度利用率随着胎圈结构和包圈方法不同而有差异。如果胎圈部位胎体帘布采取反包和正包方法,其钢丝圈左右两端承受等同拉伸,则钢丝圈底部拉伸均匀,其受力情况以表 6 中的 A 符号表示。如果胎圈部胎体帘布采取全部反包的方法,则钢丝圈仅受包圈帘布一侧的

表 5 轮胎断面水平轴高度设计趋势

轮胎规格	H_1/H_2	说明
轻载子午胎系列		
6.50R16	0.938	以往人造丝胎体设计
7.00R16	0.989	聚酯胎体
6.50R16	1.011	聚酯胎体
6.50R16	1.024	聚酯胎体(南汽依维柯车专用)
7.00R15	1.126	聚酯胎体
6.50R15	1.135	聚酯胎体
轿车子午胎系列		
P215/75R15	1.1039	聚酯胎体

拉伸,迫使钢丝圈有扭转的趋势,其受力情况以 B 符号表示。钢丝圈强度利用率 U_t 大致范围如表 6 所示。

表 6 钢丝圈强度利用率

受力符号	钢丝圈结构形式	强度利用率 U_t
 (A)	单根缠绕	$0.75 < U_t < 0.95$
 (B)	层压式矩形(成排钢丝挤出缠圈) 单根缠绕(紧密)	$0.3 < U_t < 0.45$ $0.55 < U_t < 0.75$
	单根缠绕(松散)	$0.55 < U_t < 0.65$
	圆断面电缆结构	$0.75 < U_t < 0.95$

另外,根据经验,以 6.50R16(人造丝胎体)7×8 层压式钢丝圈结构为例,如果在工艺上缠绕紧密,其实际安全倍数可接近 5;但在缠绕不紧密的情况下,层间有缝隙、松散,其实际安全倍数则不足 4,这将影响行车安全。

针对上述情况,采取了以下措施:

(1)钢丝圈结构全部采取单根缠绕方法(消除接头效应)。

(2)轻载子午胎钢丝圈的钢丝直径加大(由 19[#] 钢丝改为 18[#] 钢丝)。

(3)严格工艺操作,使钢丝圈缠绕紧密规整。

(4)轻载子午胎胎体选用聚酯帘布,帘线直径较大(比人造丝硬),如果包圈方法全部反包,则易引起胎侧(端头处)起楞,手感不平

滑。故选取二反一正的包圈方法,既改善了外观,下胎侧过渡又均匀,同时也对提高钢丝圈利用率 U_t 有利。

实践证明,我们设计的轻载子午胎实际爆破安全倍数全部在 5 以上(要求 5);对轿车类吉普车用 P215/75R15 规格轮胎亦采取类似设计方法,其实际爆破安全倍数达到 10 以上(要求 7)。

4.5 适应时代发展满足高速行驶要求

由于我国过去公路条件较差,车速也较低(一般平均 40~50km/h),烟斗花纹曾长期占领市场;而生热较低、侧滑性能较好的条形花纹因受斜交胎结构的限制,行驶中花纹蠕动大(见图 2a),耐磨性低,易夹石子,不受欢迎。自 80 年代中、后期,随着公路条件逐渐改善,尤其是高速公路的出现,上述情况迅速扭转,再加上近年来国产子午胎产量、质量显著提高,子午胎结构和性能的优越性得到社会普遍承认。同时,由于子午胎刚性带束层的作用,抑制了胎面花纹的蠕动(见图 2b),太大改善了条形花纹的耐磨性等。高速公路的发展给条形花纹提供了光明的前景。相反,烟斗花纹的市场紧缩,并且限制在低速、路面较差的条件下使用。

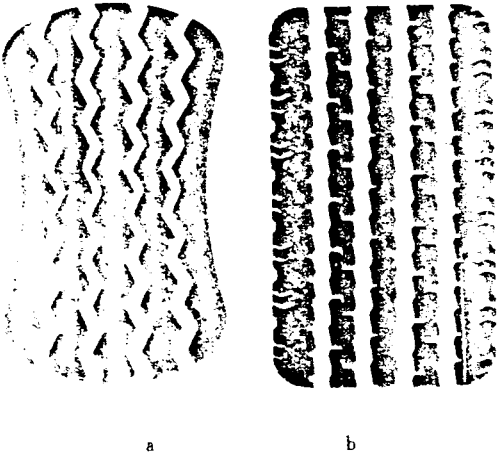


图 2 条形花纹斜交胎与子午胎
动态下接地印痕形状

a—斜交轮胎;b—子午线轮胎

(下转第 34 页)

根据使用条件的变化,这次设计的轻载子午胎全部选用曲折花纹。以 6.50R16 轮胎为例,我们设计了两种不同角度搭配的呈锯齿状曲折花纹,呈锯齿状大角度部分主要起爬坡和制动作用,小角度部分起防侧滑作用,以提高转向性能;花纹块设有细沟槽,使之在雨天起排水防滑作用。试验证明,该花纹温升低,有利于提高速度。

其它规格轻载子午胎也选用了类似的曲折花纹。P215/75R15 吉普车用轮胎的花纹,除了考虑适应较高速度行驶外,同时也考虑能满足城乡交通的需要,因此在冠部中央部分设有节距较小的曲折花纹,肩部采取条块结合花纹,并在花纹块上开有细沟槽,有利于防水滑。

5 小结

国产聚酯帘线在轻载子午线轮胎中的应用在国内属首次。在国外,纤维胎体子午线轮胎已大部分采用聚酯帘线或低捻尼龙帘线作为骨架材料。聚酯帘线具有强度高、耐疲劳性好、变形小等优点,是子午线轮胎较理想的骨架材料。经过轮胎的成品性能试验结果分析,可以得出如下结论:

(1)外缘尺寸稳定。标准状态下试验后的外缘尺寸全部达到国家标准,动态试验后的外缘尺寸变化较小。

(2)轮胎强度高。强度试验均超过国家标准,轮胎安全可靠。轻载系列子午胎压爆破后安全倍数达到 5 以上,P215/75R15 达到 7 以上。

(3)耐久性能好。各种规格轮胎的耐久性均达到 87h 以上。其中 6 个规格耐久性达到 120h 未损坏。

(4)高速性能符合国家标准,一般在 170km/h 以上,最高达 200km/h,说明轮胎高速性能已达到较高的水平。

(5)均匀性通过率达到 75%以上,X 光检测通过率达到 90%以上,因此,各种规格子午胎的均匀性、X 光检测结果均达到指标。

(6)国产聚酯帘线可以代替进口聚酯和人造丝帘线用作轻载子午胎胎体骨架材料,研制的轻载子午胎系列产品符合国家标准,各项轮胎性能满足使用要求。

致谢 陈敏玲、楚阿丽、梅周蝶、徐美华和刘长波等同志参加了试制试验;郑维峰、吕秉棠、陈志宏等同志曾具体参与和指导此项目。特此致谢!