

充气轮胎配方设计

第 12 讲 尼龙轮胎整体配方设计

莫定嫒

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

轮胎是一种复合材料体。在进行轮胎整体配方设计时,不仅要考虑各个部件胶料本身的性能要求,而且还要考虑各个部件胶料的相互作用和影响,包括物理的或化学的作用。物理的作用主要是应力-应变的均匀过渡,化学的作用主要是各部件胶料的界面性质、共硫化、各种助剂的迁移性等。整体配合不仅考虑新胎胶料设计时的合理平衡,还应考虑轮胎在使用过程中胶料性能发生的变化,从而使整体配方显得较为复杂。本讲主要论述尼龙轮胎的整体配方设计。

1 整体配方的设计原则

轮胎产品应符合优质、低耗、低成本、安全生产要求。其设计原则为:①调查研究,掌握使用条件、技术要求和制造工艺;②保证产品综合性能好;③使各部件胶料性能相互协调、匹配;④合理选用原材料;⑤掌握生胶和各配合剂的基本性质;⑥尽可能降低配合成本;⑦尽可能选用国产原材料;⑧避免使用对人体有害的原材料。

2 尼龙轮胎的现状 & 国内外配方差异

2.1 尼龙轮胎的现状

目前尼龙轮胎在我国仍是一个量大面广的产品。

过去,在设计尼龙轮胎胎面配方时,考虑影响磨损的因素较多,而在设计胎体配方时,则考虑降低生热的因素较多。这样尽管轮胎的一次里程较高,但综合里程较低。这是与国外尼龙轮胎存在的主要差距。国外尼龙轮胎

翻新率高,翻新次数也多,因而综合里程高,这也充分体现了尼龙帘线耐疲劳性能好、使用寿命长的特点。而国内尼龙轮胎翻新率低,翻新次数少,翻新后里程不高。影响翻新胎质量的主要问题是肩空和肩裂。

我国实行改革开放政策以来,经济发展很快,高等级公路日益增多,车速越来越快,对轮胎性能提出了更高的要求。因此,我们在制定配方时,必须打破过去的一些框框。在解决肩空、肩裂的同时,必须使质量迈上一个新台阶,以适应新形势下苛刻条件的运载需要。

2.2 国内外尼龙轮胎配方对比

国内外尼龙轮胎的配方差异是较大的,主要表现在合成橡胶用量和含胶率上。国外尼龙轮胎的主要部件合成橡胶用量较高,含胶率较低,而国内尼龙轮胎的主要部件合成橡胶用量较低,含胶率较高,其对比结果参见表 1。

从表 1 可以看出,合成橡胶用量差异较大的部件是胎侧。国外胎侧胶配方大多采用 100% 的合成橡胶。含胶率差异较大的是胎侧和胎体。炭黑用量国内低于国外。

从性能指标来看,国内因路况不好,比较注重拉伸强度,而整体胶料定伸应力较低,尤其是帘布胶料定伸应力更低。这可能是导致国内尼龙轮胎胎体较软的原因。这与胎体胶料只考虑低生热、炭黑用量偏低的配方设计思路有关。实际上,轮胎系定负荷变形体,如胎体不够挺实,产生形变较大,则轮胎升温仍然较高。因此,应进一步提高胎体胶料的定伸应力。

表1 国内外尼龙轮胎配方对比

部件	合成橡胶用量,%		含胶率,%		炭黑用量,份	
	国内	国外	国内	国外	国内	国外
胎冠	30—70	30—90	58.4	52.2	50—53	60—65
胎肩	10—20	30—50	—	—	—	—
胎侧	30—70	95—100	58.7	45.9	50—55	55
缓冲层	0—20	20—25	61.9	—	40—45	45—50
外层	0—30	20—50	63.4	51.9*	38—40	45
内层	0—30	15—50	64.4	—	35—40	45

注：* 为胎体数据。

3 整体配方设计

轮胎在使用中承受复杂的作用力,容易产生变形和生热,使胶料界面层或胶料与帘线相结合界面产生破坏,导致轮胎损坏。如果轮胎各部件应力-应变分布合理,避免局部产生过大的形变,使轮胎形成均一的空间结构,这样就可使轮胎保持经久耐用的使用性能,从而延长使用寿命。因此,外胎配方要从下面两个方面考虑各部件胶料间的整体配合。

3.1 定伸应力的匹配

定伸应力表征了胶料应力与应变的关系。在相同外力的作用下,随着胶料定伸应力的增大而变形减小。轮胎各部件胶料所受的应力由外向内依次减小,而层与层间胶料变形产生的剪切应力则以胎体层最大。

尼龙斜交轮胎各层间的定伸应力,一般是从内层至胎冠依次增大,形成所谓的“阶梯形”配置方式。但由于国内轮胎在胎冠胶中掺用了较多的BR,致使胎冠胶的定伸应力低于缓冲层胶,呈现出“山峰式”分布状态。总之,各部件胶料的定伸应力相差不能太大,以免应力集中在薄弱部位,导致轮胎在此部位损坏。根据现在车辆和路面的变化,适当提高各部件的定伸应力是势在必行的,在保证轮胎各部件定伸应力匹配合理的条件下,还可提高轮胎的使用性能。

从与国外轮胎比较也可看出,过去国内轮胎胶料的定伸应力匹配是较低的。通过尼

龙轮胎两轮技术攻关成果的推广应用,各部件胶料的定伸应力有所提高。各个不同时期定伸应力匹配的变化见表2。

表2 尼龙轮胎各部件胶料

部件	定伸应力的变化			MPa
	80年代前	80年代	90年代初	
胎冠胶	7.0—8.5	8.0—9.5	8.5—10.5	
胎肩胶	8.0—9.0	8.5—9.5	8.5—10.0	
胎侧胶	7.5—9.0	8.0—9.0	8.0—9.0	
缓冲层胶	8.5—9.5	8.5—10.0	9.0—10.5	
外层胶	7.0—8.0	7.5—8.5	8.0—10.0	
内层胶	6.5—7.5	7.0—8.0	7.5—8.5	

从表2可以看出,随着时间的推移,轮胎各部件胶料定伸应力逐步提高。相对而言,胎侧胶和缓冲层胶变化小一些,而胎面胶和胎体胶的定伸应力增幅较大。尼龙轮胎两轮攻关正好代表了80年代和90年代初两个时期的情况,而两轮攻关都达到了预期的效果:轮胎的室内试验各项性能均符合国家标准,耐久性达到了轮胎质量分级的A级水平,里程试验在广州也达到了同期评比轮胎的A级水平。而且,还取得了降低轮胎成本和节油的经济效益。这就说明适当提高轮胎各部件的定伸应力对轮胎质量不仅没有不利影响,还可提高轮胎的使用性能。

3.2 硫化速度的匹配

轮胎硫化是十分重要的工艺过程。温度、

压力和时间是获得橡胶最佳硫化程度的三要素。轮胎是一厚制品,硫化过程中,其热历程实际上是一个温度场分布不均的不等温加热过程,各部件胶料的受热历程有较大的差别。

配方设计应根据产品特点、硫化设备、热介质和热传递方式等因素,正确选定胶料半成品的硫化速度和成品的硫化条件。要使各部件胶料的硫化速度协调匹配,轮胎硫化过程中都达到正硫化,尽可能使硫化程度都在平坦范围内,避免局部硫化不足或硫化程度过深,以获得良好的物理机械性能。

国外采用硫化机硫化,硫化程度达到 70% 即启模,而国内无论是采用硫化罐或硫化机的厂家,大都不同程度地存在过硫的问题。针对尼龙轮胎的特殊性(尼龙帘布容易收缩),硫化后的后充气压力要保持在 900kPa 以上,因而后充气过程的后硫化效应是不可低估的。如果启模时过硫较严重,加上后充气的作用,过硫就更严重了。

调整轮胎各部件胶料硫化速度时,一定要保证尼龙轮胎最薄弱的胎肩部位不欠硫,而其它部位尽可能少过硫。根据经验,胎面胶的硫化速度最不易调整,若硫化速度过快,冠部过硫严重,会影响耐刺扎性能;若硫化速度过慢,肩部又欠硫。表 3 列举了载重尼龙轮胎主要部件胶料的硫化速度匹配例子。

表 3 载重尼龙轮胎各部件胶料的硫化条件	
部件	硫化条件
胎冠胶	143℃×(20—25)min
胎肩胶	138℃×(20—25)min
胎侧胶	143℃×(25—30)min
缓冲层胶	138℃×(20—25)min
外层胶	138℃×(20—25)min
内层胶	138℃×(20—25)min

4 各主要部件胶料配方设计

轮胎在行驶中承受着周向、侧向、法向三种外力的作用,同时经受周期性的压缩、伸张

和剪切变形,导致胶料产生滚动损失,使轮胎生热而经常处于高温状态。轮胎由多部件组成,各部件所处的位置和作用不同,对胶料性能的要求也是不同的。

4.1 胎面部分

胎面是轮胎与地面接触的部分。因此,要求胎面耐磨、耐刺扎、抗崩花裂口、耐热、耐老化、耐屈挠龟裂,且滞后损失小,防滑性能好。但一种配方要同时满足这些要求是比较困难的,最好是根据使用部位的不同特点,设计相应的各种胶料,分层挤出。这样既可提高质量,又可降低成本。

分层挤出的形式有四种,参见图 1—4。

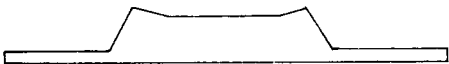


图 1 胎冠上下层和胎侧共用一种胶料的一方一块形式

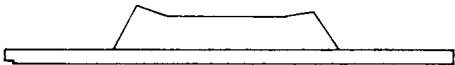


图 2 胎冠上层用一种胶料而胎冠下层与胎侧共用另一种胶料的两方两块形式

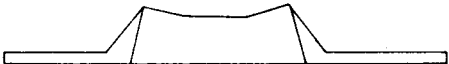


图 3 胎冠上下层用同一种胶料而胎侧用另一种胶料的两方三块形式

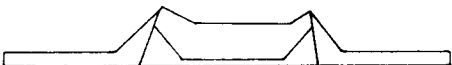


图 4 胎冠上下层及胎侧分别用三种胶料的三方四块形式

4.1.1 胎冠上层胶

胎冠上层胶直接与路面接触,因承受苛刻的外力作用,易磨损损伤。胶料除要求耐磨,还需较高的回弹性和强撕性,以降低轮胎生热和改善耐刺性能,并要求在高温和长时

间老化后性能保持率好,以提高其使用寿命。

一般厂家采用 NR/BR(50/50)并用。为了扩大合成橡胶用量,可采用 NR/BR/SBR(40/40/20)三胶并用。配方中也可采用少量活化胶粉部分代替生胶。

炭黑采用新工艺炭黑 N234,并可增加炭黑和油用量,以保证胎面耐刺扎性和耐磨性。操作油采用芳烃含量高的高芳烃油,以提高胶料强撕性能。物理防老剂采用 RPW 型防护蜡,以提高胶料抗臭氧老化的能力。化学防老剂采用防老剂 4020 与防老剂 350(对苯二胺与多聚甲醛缩合物)并用,以获得协同效应。

4.1.2 胎冠下层胶(胎肩胶)

胎肩胶与缓冲层直接接触,胎肩部位是轮胎应力集中的区域,生热高,散热也比较困难,易产生肩空、肩裂,因此,要求胎肩胶回弹性好、生热低、耐热性好。

采用“三方四块”是改善肩空的一种措施。配方中可适当增大 BR 的并用比例,如 NR/BR(75/25),可提高胶料回弹性。炭黑采用新工艺炭黑 N326 与通用炉黑 N660 并用,以兼顾生热、回弹性和耐热性。防老剂仍采用 4020 与 350 并用。氧化锌用量宜大些(10 份),以提高胶料的导热性能。操作油仍采用芳烃油。硫化体系除采用促进剂 NOBS 和硫磺外,还应加入 0.5 份促进剂 DTDM。

4.1.3 胎侧胶

胎侧是轮胎侧向变形最大的部位,行驶中经受频繁的屈挠变形,因此要求胎侧胶的耐屈挠性能良好。另外胎侧还直接与大气接触,因此还要求胶料耐天候老化性能好。同时,胎侧胶料还需具有耐刺性能。

胎侧胶配方国内一般采用 NR/BR(50/50)并用,但国外采用的合成橡胶含量较高,有时甚至采用 100% 的合成橡胶。化工部北京橡胶工业研究设计院在胎侧胶的配方设计方面做了大量工作,试验证明以下两种配方是可行的:①NR/BR/SBR1500(30/40/30);

②BR/SBR 1712(40/82.5)。配方中也可采用少量活化胶粉部分代替生胶。

采用全合成橡胶的配方主要需考虑以下三点:①填充较大的炭黑和无机填料,使混炼胶有一定的挺性;②要保证轮胎胎侧胶料有较好的抗屈挠龟裂性;③胶料要有足够的粘性,以满足成型时的需要。

配方中除合成橡胶用量大之外,炭黑应采用中超耐磨炉黑与快压出炉黑并用,还可填充 10 份硅铝炭黑,以降低含胶率,降低成本。防老体系采用 RPW 型防护蜡和防老剂 4020,并适当增加用量。配方中还可采用 RX-80 树脂部分代替操作油,以提高混炼胶的挺性。在采用全合成橡胶配方时,为了增加橡胶与橡胶之间的粘性,配方中应加入少量 C₉₀ 增粘树脂。

4.2 胎体部分

胎体承受轮胎的负荷作用,主要部件为缓冲层和帘布层。尼龙轮胎要求轻量化,因而胎体配方必须适应“加粗减层”的要求。

4.2.1 缓冲层

缓冲层是胎面胶与帘布层间的过渡层,它是轮胎行驶中承受剪切应力最大的部位,并起缓冲和分散应力的作用。因此,要求缓冲层胶料定伸应力高、回弹性好、生热低、抗剪切性能好、粘性好,并具有良好的耐热和耐疲劳性能。

缓冲层胶一般采用 NR 与 BR 并用,也可采用三胶并用,如 NR/BR/SBR1500(75/20/5)。炭黑采用新工艺炭黑 N326 与通用炉黑 N660 并用。防老剂采用 4020 与 350 并用。硫化体系采用促进剂 DM/促进剂 CZ/促进剂 DTDM/不溶性硫磺 IS-60 并用。加入不溶性硫磺 IS-60 后,可使胶料不喷霜,并可提高粘性。

4.2.2 内、外帘布层

根据帘线密度的不同,可分为内、外帘布层。胎体帘布层是承受剪切应力的支撑部件。由于材料间的摩擦以及帘线与橡胶的内摩擦

易产生大量的热,因此要求胶料生热低、回弹性高、耐热老化和耐高温。橡胶与帘线的粘合强度要高,胶料必须具有较高的拉伸强度和扯断伸长率。另外考虑到层间剪切应变由外向内逐渐过渡,外层胶的定伸应力应比内层胶稍高。

胎体胶无论是外层或内层,都采用了三胶并用,即 NR/BR/SBR1500 三胶并用。外层胶炭黑采用新工艺炭黑 N326 与通用炉黑 N660 并用。为了降低内层胶生热,全部采用通用炉黑 N660。防老剂都采用 4020 与 350 并用。硫化体系采用促进剂 DM/促进剂 CZ/促进剂 TMTD/硫黄并用。

内层胶是耗胶较多的一个部件。配方中 SBR 用量可增加到 25 份,还可添加硅铝炭黑或超细碳酸钙,这样不仅使成本降低,而且能获得较满意的性能。

内、外层胶配方中都加入了少量白炭黑。

白炭黑补强作用仅次于炭黑,而且混炼性能好。在胎体胶中加入 5 份白炭黑,不仅提高了硫化胶拉伸性能,还改善了帘线与橡胶的粘合性能,同时也增加了胎体胶的挺性,并提高了胎体胶的抗刺扎性能。国内尼龙轮胎与国外尼龙轮胎的一个较大差距是轮胎翻新率低、翻新次数少。胎体胶改进后,质量明显提高:增加了翻新次数,翻新率提高到 95%。

总之,尼龙轮胎各主要部件的配方设计变化都比较大,表现在合成橡胶用量提高、炭黑和操作油的用量增大、含胶率降低。配方中还采用了部分新型原材料,使轮胎的定伸应力增大,综合性能提高。

为了适应高等级公路和负荷加大的苛刻条件,尼龙轮胎各主要部件,尤其是胎体胶,还可进一步提高定伸应力,以满足使用性能要求。

国外动态

史密斯发布电动汽车 轮胎的研究状况

英国《轮胎和配件》1995 年 3 期 50 页报道:

据史密斯科学服务公司调查,电动汽车轮胎的发展已满足 60% 以上电动汽车制造商的需求。

为全面评价汽车的行驶性能,史密斯的分析人员检测了多家电动汽车制造商使用的 4 种不同牌号的电动轿车轮胎样胎。

史密斯公司认为,这些并不是最终的批量生产轮胎设计,但今天的样品轮胎比传统的轮胎有了显著的改进。电动汽车制造商正在寻求在保证合理使用寿命的同时,能做到轻量化,具有低滚动阻力、良好湿牵引性能和低噪声的轮胎。

由于电动轿车正在世界范围内蓬勃发

展,1994 年秋季史密斯开始对专为这些汽车设计的各种轮胎进行了专门的实验室研究。史密斯公司检测了这种特殊用途轮胎特有的结构和胶料组成。

轮胎的检测包括了全部的物理和化学分析。由于这些轮胎具有独特的胎面胶,史密斯的研究包括滞后性能、炭黑品种数据、聚合物核磁共振谱和白炭黑补强材料的显微镜分析。

还测试了滚动阻力和湿牵引力,这两项结果反映了厂家在不牺牲湿牵引性的前提下对滚动阻力的积极追求。据史密斯的分析人员称,为轮胎设计的较高的行驶充气压力需要对气密层和结构进行相应的改进。

三大汽车制造商之一正在设计一种电动汽车,该车行驶噪声非常低,以致现有新胎的胎面噪声成为汽车上显著的噪声源。在选择电动汽车时,轮胎噪声低是要考虑的一个十分重要的因素,可能要同滚动阻力相提并论。

(黄家明译 涂学忠校)