

聚氨酯实心轮胎内生热试验研究

侯春敏¹, 张 英¹, 贾林才²

(1. 北京理工大学 机械与车辆工程学院, 北京 100081; 2. 山西省化工研究院, 山西 太原 030021)

摘要:研究聚氨酯实心轮胎的内生热特性。结果表明,以 PTMG 为软段、TDI-MOCA 为硬段、邵尔 A 型硬度为 80~90 度之间的聚氨酯弹性体模型负重轮具有良好的耐热性能。轮胎的温升随载荷和转速的增大而升高。环境温度对轮胎的温升有一定影响。

关键词:聚氨酯弹性体; 负重轮; 实心轮胎; 内生热性

中图分类号: TQ336.1+3; TQ334.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2004)07-0432-05

与普通轮胎相比,实心轮胎在相同工况下具有较高的负荷能力和耐磨性能,通常用于行驶速度较低、载质量大的工程车辆。实心轮胎的胎体部分常采用橡胶材料,但高速履带车辆行驶工况复杂、环境恶劣,负重轮实心轮胎极易损坏。浇注型聚氨酯弹性体(CPUE)在物理性能方面优于橡胶材料,但内生热大是影响聚氨酯轮胎实用化的主要因素^[1]。聚氨酯模型负重轮如图 1 所示。

CPUE 是一种由软段和硬段组成的嵌段高分子聚合物,主要分为聚酯型和聚醚型两大类。其软段一般由聚酯或聚醚多元醇组成,硬段由二异氰酸酯和扩链剂组成。聚醚多元醇有聚四亚甲基二醇(PTMG)和聚丙二醇(PPG)等,聚酯多元醇有聚己二酸酯类、聚己内酯类和聚碳酸酯类等。二异氰酸酯有甲苯二异氰酸酯(TDI)、二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)和萘 1,5-二异氰酸酯(NDI)等,扩链剂有 3,3'-二氯-4,4'-二氨基二苯基甲烷(MOCA)和 1,4-丁二醇(1,4-BD)等。硬段分子之间内聚能大,易形成氢键而缔结在一起,像小岛一样分散在软段相中。软硬段的这种不相容性形成微相分离。软段上极性基团也部分与硬段上极性基团形成氢键缔合而部分混合。聚氨酯的这种形态和结构赋予了其许多特殊性能。聚氨酯弹性体中微相分离的程度和硬段在软段中分布的均匀性以及合成方法、固化条件等因素都直接影响弹性体的物理性能和耐热性能。

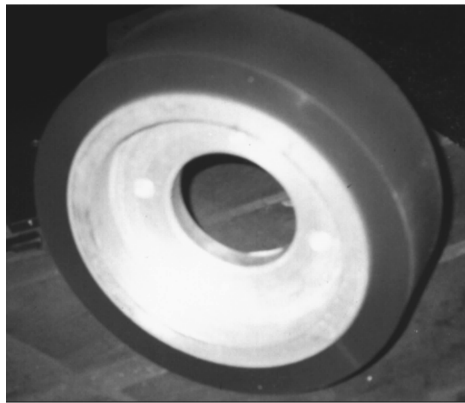


图 1 聚氨酯模型负重轮

外径 250 mm、弹性体厚度 25 mm。

本工作进行了聚氨酯弹性体材料的内生热试验研究。

1 实验

1.1 原材料

PTMG、己二酸乙二醇酯(ODX-218)、TDI、MDI、MOCA 和 1,4-BD, 山西省化工研究院提供。

1.2 试验配方

根据负重轮受力和生热综合性能的要求,选择 MDI/PTMG/BD、TDI/PTMG/MOCA 和 TDI/ODX/MOCA 三种 CPUE 配方体系,每种体系两种硬度配方。6 个配方均选用预聚体法进行试样制备、参数测试及模型负重轮台架试验,配方设计如表 1 所示。

1.3 仪器与设备

JZT242-4 型电磁调速电动机, 59C2 型转速

作者简介:侯春敏(1975-),女,黑龙江佳木斯人,北京理工大学在读硕士研究生,主要从事轮胎动力学及热负荷研究工作。

表 1 聚氨酯弹性体的配方设计

配方编号	邵尔 A 型 硬度/度	软段	硬段	
			异氰酸酯	扩链剂
1 [#]	92	PTMG	TDI	MOCA
2 [#]	86	PTMG	TDI	MOCA
3 [#]	92	PTMG	MDI	1,4-BD
4 [#]	84	PTMG	MDI	1,4-BD
5 [#]	74	ODX-218	TDI	MOCA
6 [#]	82	ODX-218	TDI	MOCA

表及 DT6232 型数字转速器、DT9107 型数字万用表。

1.4 试验方法

模型负重轮试验台架如图 2 所示。在模型负重轮聚氨酯弹性体轮缘端面距轮毂由内向外钻 3 个孔(直径 2 mm,深 40 mm),周向分布,试验过程中测量其内部温度。

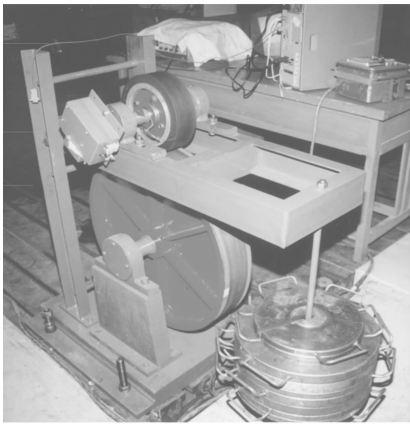


图 2 模型负重轮试验台架

根据模型试验相似理论,应保证模型负重轮与原型负重轮承受载荷和生热状况相似,即施加在模型负重轮上的平均应力和角速度应与原型负重轮相等。

2 结果与讨论

2.1 材料性能

不同配方所得 CPUE 物理性能如表 2 所示。由表 2 可见,6 种配方 CPUE 在常温下的静态物理性能完全满足负重轮工作可靠耐久、质量和滚动阻力小以及具有一定的缓冲能力的要求。

2.2 负重轮生热影响因素

试验过程中测量内、中、外三点温度时发现,6 种配方的模型负重轮最高温度均出现在中点,因此以中点数据为分析依据。

表 2 不同配方 CPUE 物理性能测试结果

项 目	配方编号					
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
损耗因子	0.065	0.062	0.071	0.074	0.091	0.120
拉伸强度/MPa	51.7	40.7	40.3	44.4	47.6	52.6
300%定伸应力/MPa	17.0	10.7	15.9	12.3	4.44	8.13
拉断伸长率/%	480	530	570	550	710	610
拉断永久变形/%	4.0	4.0	50.0	18.0	2.0	2.0
撕裂强度/ (kN·m ⁻¹)	111.0	81.0	116.0	86.0	58.0	81.0
导热系数/ [W·(m·K) ⁻¹]	0.149	0.154	0.132	0.135	0.127	0.118

2.2.1 配方组分

6 种配方 CPUE 模型负重轮温度(θ)随时间(t)的变化情况如图 3 所示。由图 3 可以看出,6 种配方 CPUE 模型负重轮温度均在达到最大值后略有下降,然后基本保持平稳。设内生热量为 J_i ,则各配方 CPUE 内生热量的大小顺序为:

$$J_6 > J_5 > J_4 > J_3 > J_1 > J_2$$

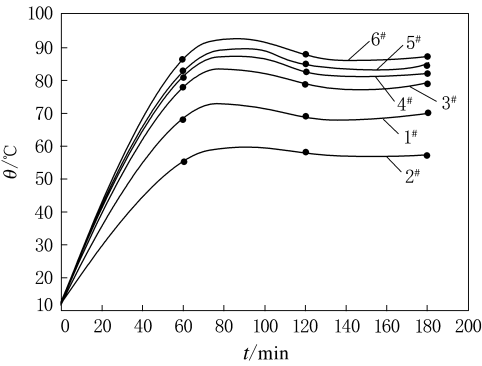


图 3 不同配方 CPUE 模型负重轮的 θ - t 曲线

载荷 600 kg;转速 318 r·min⁻¹;环境温度 12℃。

2.2.2 载荷

6[#] 配方 CPUE 模型负重轮不同载荷下的温升情况如图 4 所示。由图 4 可以看出,模型负重轮最高温度随载荷的增大而升高,当温度达到最高值后逐渐趋于平稳,750 kg 载荷下的最高温度为 96℃。

根据 GJB 226—1986 耐久性试验方法,得到 4[#] 配方 CPUE 模型负重轮内部温升情况如图 5 所示。由图 5 可以看出,在高速重载工况下,CPUE 模型负重轮短时间内即达到最高温度 116℃。虽然每隔 2 h 增加 10%的载荷,但最高温度有所下降直至趋于平稳。这是由于聚氨酯弹性体滞后作用积累的热量与向周围环境散出的热量达

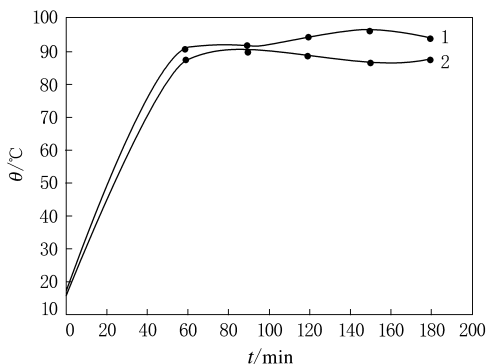


图4 6[#]配方 CPUE 模型负重轮不同载荷下的 θ - t 曲线
载荷(kg):1—750;2—600。转速 $318 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$;
环境温度 12°C 。

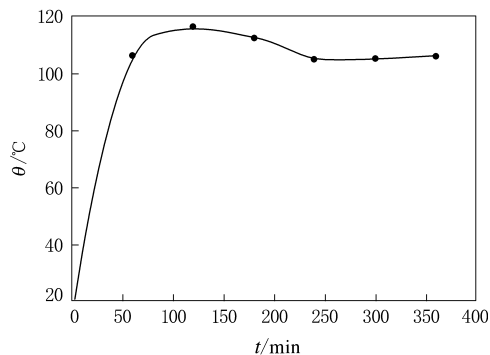


图5 4[#]配方 CPUE 模型负重轮的耐久性 & 生热情况
转速 $450 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$;环境温度 12°C 。起始
载荷为 600 kg,每隔 2 h 增大 10%。

到动态平衡,形成稳态温度场,因此模型负重轮的最高温度基本保持不变,没有超出材料的耐热极限 130°C 。又由于环境温度偏低,胎体散出热量超过由于滞后作用积累的热量,稳态温度场暂时的动态热平衡状态被打破,导致温度下降并再次形成新的稳态温度场。

2.2.3 转速

6[#]配方 CPUE 模型负重轮不同转速下的内部温升情况如图6所示。由图6可以看出,CPUE 模型负重轮最高温度随转速的增大而升高,并在温度达到最大值后逐渐趋于平稳, $440 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 转速下的最高温度为 92°C 。

载荷的增大导致模型负重轮整体温度升高,但温度分布情况不变;转速的增大不但导致模型负重轮整体温度的升高,而且由于转鼓与轮胎表面的摩擦加剧,产生大量热量,致使胎体接近表面部位的温度升高。

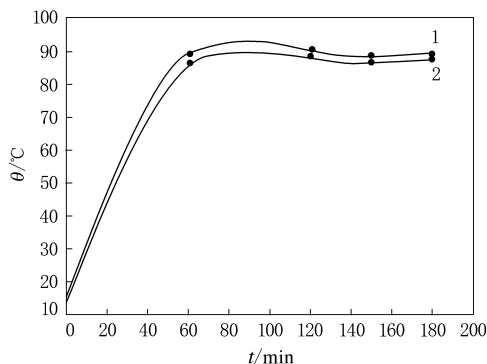


图6 6[#]配方 CPUE 模型负重轮不同转速下的 θ - t 曲线
转速($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$):1—440;2—318。载荷 600 kg;
环境温度 12°C 。

2.2.4 环境温度

测试3种配方 CPUE 模型负重轮 30°C 环境温度下的温度变化情况,结果如图7所示。由图7可以看出,3种配方 CPUE 模型负重轮在载荷增大后温度明显上升,达到最大值后形成稳态温度场。内生热量大小为:

$$J_6 > J_4 > J_2$$

其变化趋势与 12°C 下的测试结果相同,但比较图7和3可以看出, 30°C 试验前期各配方 CPUE 模型负重轮的升温较慢,较 12°C 时低约 10°C 。

根据 GJB 226—1986 耐久性试验方法,测试3种配方 CPUE 模型负重轮在高载荷和转速下内部温升情况,结果如图8所示。由图8可以看出,2[#]配方 CPUE 模型负重轮在高温、重载工况下升温平稳,且最高温度只有 103°C ,仍然在材料的耐

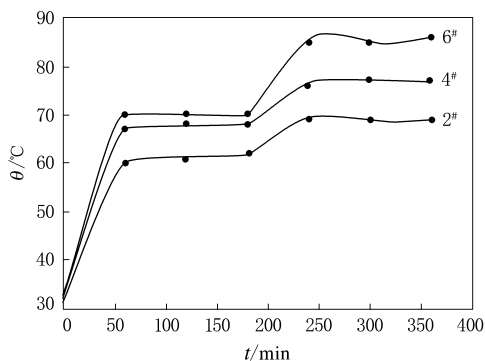


图7 不同配方 CPUE 模型负重轮载荷变化
情况下的 θ - t 曲线

转速 $320 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$;环境温度 30°C 。
载荷前 3 h 为 450 kg,后 3 h 为 600 kg。

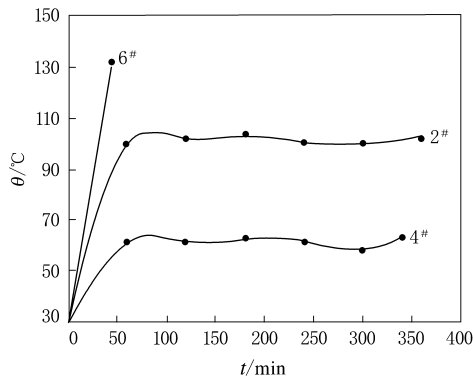


图 8 不同配方 CPUE 模型负重轮高载荷和转速下的 $\theta-t$ 曲线

载荷 600 kg; 转速 $450\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$; 环境温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

热极限范围内,且表面无任何损伤。在此,4[#] 配方出现了反弹现象,这可能是由于轮胎在浇注过程中掺入了杂质,导致出现局部应力集中所致。

2.2.5 轮缘厚度

3[#] 配方 CPUE 模型负重轮不同轮缘厚度下的温度测试结果如图 9 所示。由图 9 可以看出,轮缘厚度的变化对内、中、外三个测温点温度的影响由小到大依次为内点、中点、外点,即轮缘厚度对外点温度的影响最大。这是由于轮缘厚度减小,外点距表面的距离减小,因此散热快,温度低;中点温度略有下降,而内点和中点的温差也减小了,表明在轮缘内部形成了稳态温度场,温升较平稳;各点最高温度均有所下降,说明轮缘厚度减小可降低轮胎的温升。

2.3 负重轮生热性

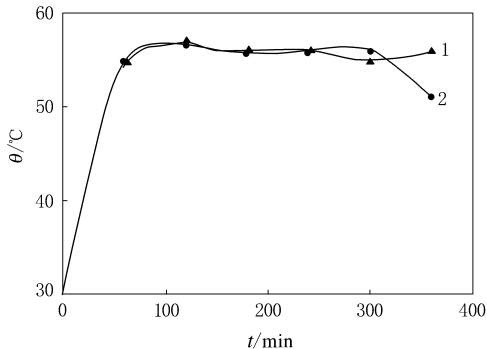
负重轮聚氨酯弹性体在循环应力-应变作用下机械滞后损失转换成热量。对于任意节点,轮胎转动一个周期所产生的热量由下式计算:

$$Q = \varepsilon \sigma \tan \delta \quad (1)$$

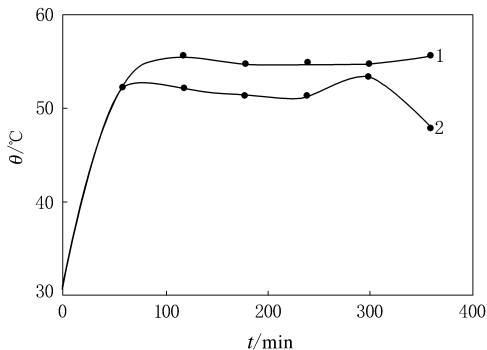
式中, Q 为每个节点在轮胎转动一个周期内单位体积耗散的能量, ε 为节点应变, σ 为节点的应力, $\tan \delta$ 为材料损耗因子。

节点生热率(q)是指单位时间内单位体积的弹性体材料机械滞后损失转换的热量。根据滚动速度和直径可确定周期,于是得到节点生热率计算公式:

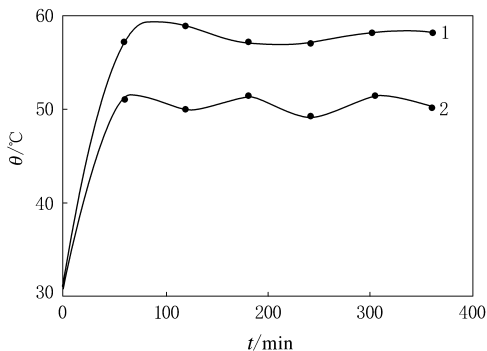
$$q = \frac{v}{3.6\pi D} \varepsilon \sigma \tan \delta \quad (2)$$



(a) 内点



(b) 中点



(c) 外点

图 9 3[#] 配方 CPUE 模型负重轮不同轮缘厚度的 $\theta-t$ 曲线

轮缘厚度(mm):1—25;2—20。环境温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$;

载荷 450 kg; 转速 $320\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

式中, v 为节点速度, D 为负重轮直径。转速和载荷增大,则 σ 和 ε 增大。

由式(2)可以看出,不同配方 CPUE 模型负重轮由于其 $\tan \delta$ 不同,在相同的载荷和转速下 q 也不同。根据式(2)计算 6 种配方 CPUE 模型负重轮在载荷 600 kg、转速 $320\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下轮缘断面沿径向各节点的节点生热率,结果如表 3 所示。

表 3 不同配方 CPUE 模型负重轮节点生热率比较

项 目	配方编号					
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
tanδ	0.065	0.062	0.071	0.074	0.091	0.120
节点序号						
1	244 213.1	232 941.7	266 755.8	278 027.2	341 898.3	450 854.9
2	85 128.3	81 199.3	92 986.3	96 915.3	119 179.6	157 159.9
3	127 613.8	121 723.9	139 393.6	145 283.4	178 659.3	235 594.7
4	240 272.6	229 183.1	262 451.6	273 541.1	336 381.6	443 580.2
5	275 644.4	262 922.3	301 088.4	313 810.5	385 902.1	508 881.9
6	269 601.4	257 158.2	294 487.7	306 930.8	377 441.9	497 725.6

由表 3 可以看出,2[#]配方的 CPUE 模型负重轮各节点的生热率最小。

由以上试验结果可以看出,1[#]和 2[#]配方 CPUE 模型负重轮动态生热较小。这是由于它们的软段为 PTMG,硬段为 TDI-MOCA。PTMG 属聚醚多元醇类,含有醚键,可以自由旋转,且分子间引力小,由其合成的聚氨酯弹性体弹性好、滞后小,因此生热小。3[#]和 4[#]配方的软段也为 PT-MG,但硬段为 MDI-1,4-BD,则其内生热较大。这是由于硬段 TDI-MOCA 形成脲基,而 MDI-1,4-BD 形成氨基甲酸酯基,前者的内聚能大于后者,应力作用于后者更易产生塑性变形。硬段的取向产生不可逆形变,从而导致较大的能量损失、高滞后和大永久变形。同理,5[#]和 6[#]配方 CPUE 软段为 PEA,内含极性较大的酯基,在应力作用下易发生软段的取向,产生不可逆形变,导致较大的能量损失,从而使制得的弹性体弹性差,滞后

大,内生热也大。
综上所述,1[#]和 2[#]配方体系 CPUE 耐热性能较好,且邵尔 A 型硬度在 80~90 度之间的配方生热更小,因此 2[#]配方的模型负重轮在试验中表现出较好的耐热性能。

3 结论

- (1)以 PTMG 为软段、TDI-MOCA 为硬段、邵尔 A 型硬度为 80~90 度之间的 CPUE 模型负重轮具有良好的耐热性能。
- (2)轮胎的温升随载荷和转速的增大而升高。
- (3)环境温度对轮胎的温升有一定影响。

参考文献:

[1] 于立彪,张 军,郑慕侨. 聚氨酯汽车轮胎的研究进展及应用前景分析[J]. 车辆与动力技术,2001,12(4):58-62.

收稿日期:2004-03-22

Experimental study on interior heat build-up of PU solid tire

HOU Chun-min¹,ZHANG Ying¹,JIA Lin-cai²

(1. Beijing University of Science and Technology,Beijing 100081,China;2. Shanxi Research Institute of Chemical Technology, Taiyuan 030021,China)

Abstract: The interior heat build-up in PU solid tire was investigated. The results showed that the tire model of PU with 80~90° Shore A hardness and using PTMG as soft segment and TDI-MOCA as hard segment respectively featured good heat resistance;the temperature rising of tire increased as the tester speed increased;and the environment temperature had some influence on the temperature rising of tire.
Keywords: PU elastomer;load tire;solid tire;interior heat build-up