

应用 RPA2000 橡胶加工分析仪进行胶料硫化模拟

雍 武,周天明,刘恒武
(银川佳通轮胎有限公司,宁夏 银川 750011)

摘要:利用 RPA2000 橡胶加工分析仪的变温测试功能,模拟轮胎实际硫化过程中的温度变化。试验结果表明,模拟硫化结果与埋点式硫化测温所得实际温度-时间关系曲线基本吻合。由模拟硫化数据可知,硫化方案二〔内温 $(174\pm 2)^{\circ}\text{C}$,内压 $(2.8\pm 1)\text{MPa}$,外温 $(152\pm 2)^{\circ}\text{C}$,外压 $(0.39\pm 0.03)\text{MPa}$,硫化时间 55 min〕的效果最佳,胎面胶和胎肩垫胶均可达到正硫化点,并保持在平坦区。

关键词:橡胶加工分析仪;硫化模拟;胎面胶;胎肩垫胶

中图分类号:TQ330.4⁺92;TQ330.6⁺7 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8171(2004)03-0174-04

硫化是橡胶制品加工过程中重要的一步。对于轮胎这种多胶种组合的橡胶制品,了解各胶种的硫化历程非常重要。在配方设计时,除了考虑特定部位胶料的使用性能外,还要考虑胶料的硫化速度是否匹配。

目前,国内常用的硫化监控手段是用测温元件测量轮胎各部位的实际温度变化,然后利用胶料的活化能和阿累尼乌斯公式计算出胶料在不同时刻的等效硫化时间,即“埋点式硫化测温法”。这种方法是以前阿累尼乌斯公式为基础的,因此在胶料的活化能计算和温度因数的选取上不能做得很切合实际。同时,利用该公式所做的测温试验,不同时刻的等效硫化时间是一个积分值,如果某一时刻测温元件出现故障,所测的温度值不准确,该时刻之后的所有等效硫化时间都会受影响。这样的测温结果就不能完全表征实际的硫化情况。

20 世纪末,国外出现了利用有限元分析方法进行轮胎硫化过程的模拟^[1],但这种方法需依靠大型的应用软件和大量的数据积累。目前国内还极少有这方面的深入研究。

在硫化过程中,随着胶料硫化程度的加深,其物理性能也随之提高;但超过正硫化点后,若继续进行硫化,胶料的物理性能会呈下降趋势,这就是胶料的热降解。从胶料流变仪试验的弹性转矩曲线上可以很明显地观察到这一现象。RPA2000

橡胶加工分析仪具有变温测试功能,本工作利用其模拟实际硫化过程中的温度变化,并与实际测温结果进行比较。

1 实验

1.1 试验方案

制定了 3 个硫化方案(见表 1),采用“埋点式硫化测温法”对 3 种方案所得轮胎各部位的温度变化进行测定。选取比较典型的胎面胶和胎肩垫胶进行硫化过程模拟。

表 1 3 种不同硫化方案

项 目	方案一	方案二	方案三
内温/ $^{\circ}\text{C}$	178 ± 2	174 ± 2	171 ± 2
内压/ MPa	2.8 ± 1	2.8 ± 1	2.8 ± 1
外温/ $^{\circ}\text{C}$	158 ± 2	152 ± 2	148 ± 2
外压/ MPa	0.45 ± 0.03	0.39 ± 0.03	0.35 ± 0.03
硫化时间/min	55	55	55

由于试验仪器的升温速度非常快,并且不可调节,因此只能在不同时刻设置不同的温度,并使之保持若干时间,得到的温度曲线实际上呈阶梯形变化。也就是说,温度保持点越多、保持时间越短,所模拟的温度变化曲线与实际硫化过程中的温度变化趋势越吻合。经过多次摸索发现,若温度点取得太密,试验仪器在升温过程中所用的时间相对较长,最终的总试验时间和实际硫化时间偏差较大。本试验取 22 个温度点,每个温度点保持 4 min,这样得到的温度曲线及总试验时间与实际的硫化温度曲线及总硫化时间比较吻合。

作者简介:雍武(1966-),男,宁夏中宁人,银川佳通轮胎有限公司工程师,学士,主要从事轮胎生产和工艺管理工作。

1.2 主要试验设备及工作条件

RPA2000 橡胶加工分析仪,美国阿尔法公司产品。工作条件:模腔可控温度范围 40~230℃,温度可控误差 ±0.3℃,测试频率 100 r·min⁻¹,摆角 0.50°。

2 结果与讨论

2.1 实测数据

采用埋点式硫化测温法实测胎面胶和胎肩垫胶温度-时间关系曲线分别如图 1 和 2 所示。

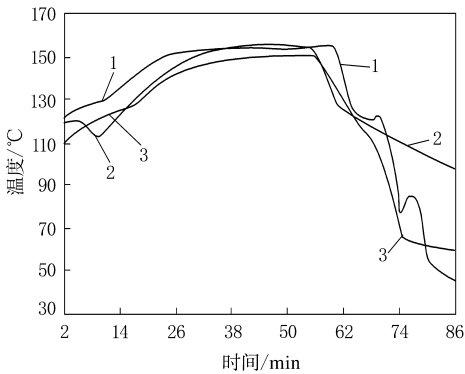


图 1 胎面胶不同硫化方案下的实测温度-时间关系曲线
1—方案一;2—方案二;3—方案三。

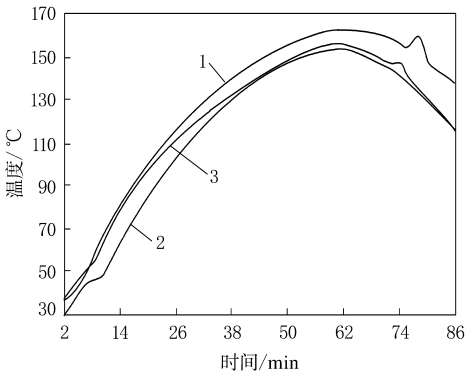


图 2 胎肩垫胶不同硫化方案下的实测温度-时间关系曲线
注同图 1。

2.2 硫化模拟

胎面胶和胎肩垫胶不同方案下关键时刻的温度、时间和弹性转矩值分别如表 2 和 3 所示。胎面胶不同方案下温度和弹性转矩随时间的变化曲线分别如图 3~5 所示;胎肩垫胶不同方案下温度和弹性转矩随时间的变化曲线分别如图 6~8 所示。

表 2 不同方案下的胎面胶模拟硫化数据

方 案	t_1 /min	t_2 /min	温度/℃	转矩/(dN·m)
方案一	22.91	22	148.0	5.684
	26.39	26	150.5	12.24
	29.84	30	152.5	16.89
	33.05	34	153.0	18.49
	36.25	38	153.5	19.24
	39.46	42	154.0	19.57
	42.56	46	154.0	19.71
	45.80	50	155.0	19.68
	49.68	54	154.0	19.69
	52.78	56	154.0	19.59
	55.88	60	154.0	19.51
	59.95	62	140.0	20.20
方案二	24.58	24	144.0	3.732
	28.59	28	147.0	4.915
	32.72	32	151.0	12.53
	36.19	36	153.0	17.00
	39.65	40	155.0	18.46
	42.75	44	155.0	18.97
	45.99	48	156.0	19.13
	49.09	52	156.0	19.16
	53.61	56	146.0	19.85
	58.38	60	129.0	20.59
	62.42	64	124.0	20.82
	66.52	68	117.0	21.10
方案三	27.69	20	135.0	3.499
	25.77	24	141.0	3.752
	29.85	28	145.0	4.664
	33.29	32	147.0	8.493
	34.39	34	147.2	13.93
	39.81	40	149.0	16.83
	43.36	44	150.0	18.17
	46.69	48	151.0	18.81
	50.04	52	152.0	19.41
	53.68	56	151.5	19.49
	57.87	60	135.0	20.44
	63.34	64	121.5	21.15

注: t_1 和 t_2 分别为模拟试验和轮胎实际硫化所用时间。

由图 1~8 及表 2 和 3 可以得出以下结论。

(1)图 3~5 的温度-时间曲线分别与图 1 的 3 条曲线基本吻合,图 6~8 的温度-时间曲线分别与图 2 的 3 条曲线基本吻合。由表 2 和 3 可以看出,实际硫化时间与模拟试验时间相差不大,说明模拟试验可以基本反映轮胎在实际硫化过程中的情况。

(2)图 3~5 中,在硫化模拟后期,即实际硫化过程中启模后、胶料温度开始下降时期,弹性转矩明显增大,这是高聚物弹性体的粘弹性对温

表 3 不同方案下的胎肩垫胶模拟硫化数据

方 案	t_1/min	t_2/min	温度/ $^{\circ}\text{C}$	转矩/($\text{dN}\cdot\text{m}$)
方案一	28.88	28	122.0	2.361
	32.89	32	129.0	2.299
	36.61	36	136.0	2.410
	40.33	40	143.0	4.976
	44.42	44	148.5	11.97
	48.49	50	154.5	14.47
	52.34	53	157.0	14.73
	56.35	58	160.3	14.39
	59.58	60	161.1	14.03
	63.32	66	160.4	13.72
方案二	66.80	70	160.0	13.48
	70.71	74	155.5	13.34
	32.34	32	118.0	2.428
	36.04	36	126.0	2.320
	39.77	40	133.0	2.295
	43.87	44	138.5	2.652
	47.91	48	144.0	7.073
	52.03	52	148.0	12.79
	56.04	56	151.0	14.68
	59.53	60	153.0	15.05
方案三	63.43	64	152.0	15.05
	67.74	68	146.0	15.09
	71.71	72	140.0	15.04
	75.71	76	133.0	15.05
	25.83	26	112.0	2.518
	30.34	30	119.0	2.405
	34.03	34	126.0	2.312
	38.19	38	131.0	2.318
	42.26	42	137.0	2.587
	46.42	46	142.0	6.284

注：同表 2。

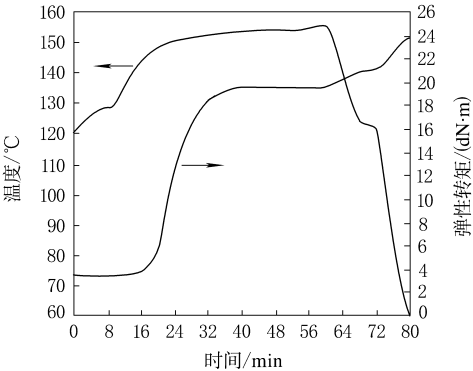


图 3 胎面胶硫化方案一下温度和弹性转矩随时间的变化曲线

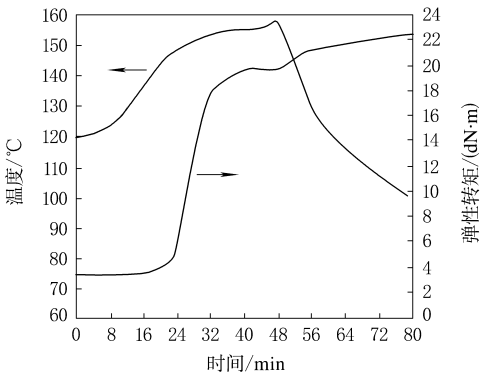


图 4 胎面胶硫化方案二下温度和弹性转矩随时间的变化曲线

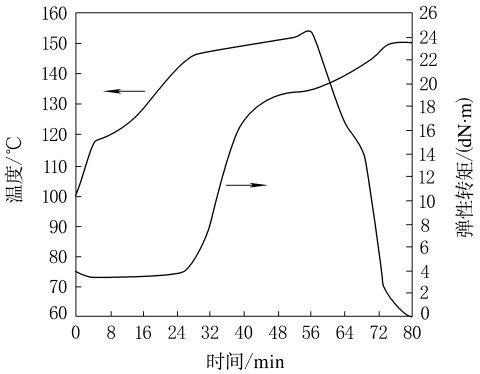


图 5 胎面胶硫化方案三下温度和弹性转矩随时间的变化曲线

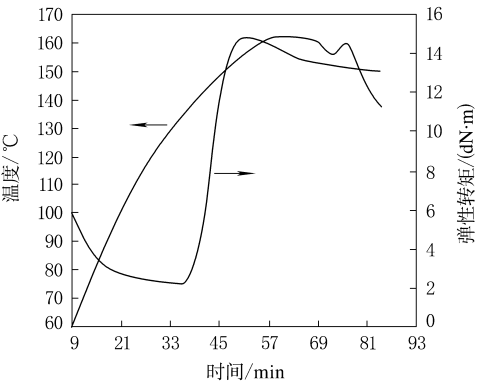


图 6 胎肩垫胶硫化方案一下温度和弹性转矩随时间的变化曲线

度的响应所造成的必然结果,即相同形变下,高温时胶料较软,弹性转矩小;低温时胶料较硬,弹性转矩大^[2]。

(3)图 6~8 在降温阶段没有出现图 3~5 中的弹性转矩突升现象,这是由于胎肩垫胶的温度在模拟后期仍处于高温区域。试验证明,在胶

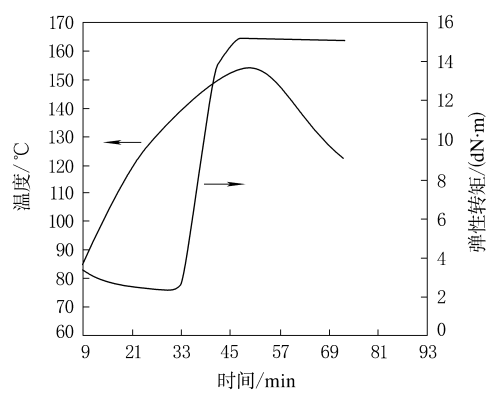


图 7 胎肩垫胶硫化方案二下温度和弹性转矩随时间的变化曲线

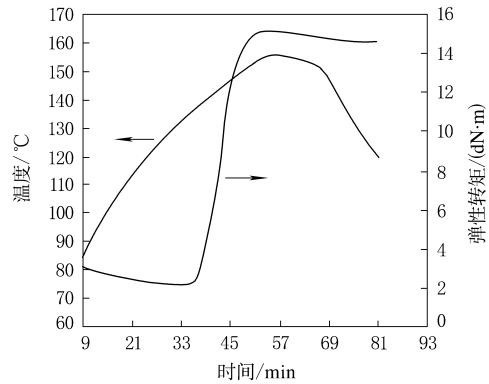


图 8 胎肩垫胶硫化方案三下温度和弹性转矩随时间的变化曲线

温低于 90℃时,弹性转矩开始呈上升趋势,这说明不同胶料的粘弹性对温度的响应不同。

(4)在执行硫化方案一时,弹性转矩平坦期较长,从图 3 中观察不到弹性转矩的减小趋势,但从表 2 中可以看出,弹性转矩在试验进行到 42.56 min(实际硫化时间为 46 min)时达到 19.71 dN·m,然后开始缓慢减小,直到胶料开始降温为止。说明胎面胶在执行硫化方案一时存在过硫现象,但不明显。图 6 显示,胎肩垫胶的过硫现象非常明显,弹性转矩下降趋势显著。

(5)执行硫化方案二时,弹性转矩平坦期相对方案一短。从表 2 可以看到,胶料在开始降温以

前,弹性转矩保持在 19.13~19.16 dN·m,相对来说变化趋势平缓,说明胎面胶在执行硫化方案二时,胶料刚好达到正硫化点。图 7 显示,胎肩垫胶也达到弹性转矩平坦区。表 3 数据显示,弹性转矩保持在 15.04 dN·m 左右。说明执行硫化方案二时,两部位胶料均达到正硫化点。

(6)图 5 显示,胎面胶在硫化 40 min 后交联基本完毕,弹性转矩增势缓慢。从表 2 可知,胶料的交联没有停止,弹性转矩保持着一定的缓慢增大趋势,直到胶料开始降温,说明胶料已靠近正硫化点,但稍微有些欠硫。图 8 显示,胎肩垫胶在执行硫化方案三时有过硫迹象,表 3 也反映出弹性转矩在第 58 min 后呈下降趋势。说明方案三的外温和内温设置不合理,造成局部胶料欠硫、同时另一部分胶料过硫。

3 结论

(1)利用 RPA2000 橡胶加工分析仪在适当条件下可以实现对轮胎硫化情况的模拟,且效果直观、明显,可信度较大。

(2)胶料硫化模拟试验证明,3 种硫化方案中,方案二最佳,胎面胶和胎肩垫胶均达到正硫化点,并保持在平坦区。

(3)在轮胎硫化过程中,内温和外温的匹配很重要,否则极易导致轮胎在局部胶料欠硫的同时另一部分胶料过硫。

致谢:本工作得到了技术品保部陈刚部长和物理实验室王晖同志的大力协助,特此感谢!

参考文献:

[1] Ghoreishy M H R. Iran polymer institute FEA in the mold [J]. Tire Technology International 2001;74-77.
[2] 金日光,华幼卿. 高分子物理[M]. 北京:化学工业出版社, 2001.

收稿日期:2003-10-14

我国机动车保有量达 9 600 多万辆

中图分类号:U469.1/.79 文献标识码:D

从有关方面获悉,截至 2003 年年底,我国在用机动车保有量已达 9 600 多万辆,比上年增长了 21%。其中汽车保有量为 2 421 万辆,摩托车

为 5 929 万辆,同比分别增长了 13%和 17.7%。此外,我国私人汽车保有量已达 1 242 万辆,同比增长 24.8%。统计还显示,截至 2003 年年底,我国共有机动车驾驶员 102 781 396 人。

(摘自《中国汽车报》,2004-02-03)