

轮胎硫化测温影响因素与经济效益分析

沈世刚,张清伟,丁峰

(天津市万达轮胎集团有限公司,天津 300402)

摘要:针对轮胎硫化测温的基本工作原理、影响试验结果准确性的因素、测温与轮胎质量的关系以及测温产生的效益进行阐述。从胶料配方、混炼工艺、轮胎结构、成型及挤出过程、埋线位置和测温仪精度等多方面分析影响测温结果的因素,以获得较准确的测温结果,有助于制定合理的硫化条件,提高经济效益。

关键词:轮胎;硫化测温;等效硫化时间;硫化效率;节能减排

中图分类号:TQ336.1;TQ330.6⁺7 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-8171(2015)12-0724-04

我国的轮胎企业经过近十几年的发展,生产规模和质量都有很大提高。随着国内轮胎企业生产规模的扩大,硫化设备用量增大,能源需求也随之增加,尤其是加热硫化介质所需原煤用量,属于粗放型扩张。制定科学的硫化条件是降低能源消耗的良好手段,硫化测温是确定硫化条件的好方法,不仅可以提高生产效率,还可以降低能源消耗,达到提质降耗的效果。

目前国内很多企业制定硫化条件的方法不科学,也不规范,有些企业盲目借鉴其他厂家的硫化工艺条件,这些硫化条件调整余地较大,一些企业虽然在制定硫化条件时也进行测温工作,但是测温结果不符合试验规律,仅用一次不符合热传导规律的试验结果就盲目制定硫化条件。尽管这种硫化条件在生产中可以使用,但对轮胎内在质量和能源消耗的影响较大。硫化测温是一项非常复杂的试验工作,涉及的方面较多,稍有疏忽就有可能得出错误的试验结论。本文就测温的基本工作原理、影响试验结果准确性因素、测温与轮胎质量的关系以及测温产生的效益进行基本阐述。

1 测温基本工作原理

1.1 埋线与温度采集

硫化测温是在胎坯成型过程中的关键部位埋入一定数量热电偶导线,并将胎坯装入硫化机

(罐)中按照初步确定的硫化工艺条件进行硫化,用测温仪器记录整个硫化周期内各测温点温度与时间的关系曲线。

1.2 等效硫化时间的计算

轮胎硫化是非等温硫化过程,温度是时间函数,等效硫化时间就是将非等温硫化时间转换成基准温度下的硫化时间,基准温度一般定为实验室硫化仪测试温度或半成品硫化温度。计算公式如下

$$S = \int_0^t e^{E/R(1/T_0 - 1/T)} dt$$

式中 S ——基准温度下的等效硫化时间;

t ——硫化时间;

E ——胶料活化能;

R ——气体常数;

T_0 ——基准硫化绝对温度, $T_0 = \theta_0 + 273.15$
(θ_0 为基准硫化摄氏温度);

T ——测温采集绝对温度, $T = \theta + 273.15$ (θ 为摄氏温度)。

使用美国阿尔法科技有限公司的MDR2000型硫化仪对测试的温度-时间曲线进行人工强制校正,采用上述公式计算的等效硫化时间精度相当高,与MDR2000型硫化仪测试的等效硫化时间结果吻合。

1.3 硫化条件的确定

用等效硫化时间判定轮胎实际硫化程度和各部位配方硫化体系匹配情况,如果配方硫化体系不合理,配方工程师需要对配方硫化体系进行必

作者简介:沈世刚(1968—),男,山东蓬莱人,天津市万达轮胎集团有限公司工程师,主要从事轮胎检测和轮胎硫化条件的研究工作。

要的调整,测温工作者依据调整后的配方硫化体系和等效硫化时间制定合理的硫化条件,再对新制定的硫化条件进行测温验证和修正,最终制定该规格轮胎的硫化条件。

2 影响测温结果的因素

硫化测温看似简单,要准确测出轮胎内部温度场分布规律相当复杂,影响温度-时间曲线的因素很多,如胶料配方、混炼工艺、轮胎结构(包括轮胎材料分布、骨架材料类型与规格、花纹结构、花纹节距)、成型过程、挤出过程、压延过程、埋线位置、热电偶探头大小与安置方向、流变仪精度、平板硫化机温度精度、测温仪精度、记录时间间隔、硫化机整体工况、胶囊、活化能和环境气候等。

2.1 配方和混炼工艺

2.1.1 胶料组分

如果配方中非高分子组分含量增加,胶料导热加快,尽管轮胎内部温度增高不明显,但是在整个硫化周期内热积累效应还是很明显的。因此,尽管调整配方后硫化体系和 t_{90} 没有变化,但最终的等效硫化时间有变化,配方调整后应该考虑胶料的热传导率是否发生变化,是否对硫化条件进行调整,部分轮胎企业对这一点重视不够,这项工作可以在实验室进行模拟验证。

2.1.2 混炼工艺

胶料在混炼过程中,橡胶大分子链在剪切力的作用下断裂变短,分子链越短,混炼胶的导热性能越好,配合剂在橡胶中均匀分散过程中产生热量,导致混炼胶温度升高,特别是在终炼胶混炼过程中排胶温度影响胶料的剩余焦烧时间,这对胶料反应活化能和胶料反应起泡点有一定影响。这些外界条件因素都将对试验结果和制定硫化条件有或多或少的影响。

2.2 轮胎结构和成型工艺

2.2.1 轮胎结构

轮胎结构对制定硫化时间有重大影响,甚至超过配方因素,轮胎内部温度场受轮胎结构因素影响较大。一方面是橡胶材料的分布,骨架材料的类型与分布、密度都将影响轮胎在硫化时温度的传导;另一方面是轮胎的花纹,花纹的深度、排列、节距、类型、花纹块上有无散热钢片都对整个

胎冠温度场分布有非常大的影响。如花纹节距越小,胶料导热越快,花纹块上有散热片,胶料导热性提高,这些因素都影响到最终等效硫化时间,因此不同花纹类型轮胎应该制定不同的硫化时间。胎圈区域结构比较简单,但要找出该区域最低温度部位相当困难,1~2次测温很难找到。

2.2.2 成型工艺

一次准确的测温工作需要多方配合完成,成型机和成型工也起重要作用。如果成型机的精度不够,成型的测温试验轮胎不对称,胎坯偏歪,那么整个胎坯在硫化时温度场会发生变化。如果成型工在成型过程中对部件有局部拉伸,则该区域的温度将偏高,试验结果同样不可靠,甚至会得出错误的结论。

2.2.3 部件尺寸

各种半成品部件尺寸对测温结果有一定影响。部件尺寸偏小,则测温结果偏高;部件尺寸偏大,则测温结果和等效时间偏低。

2.3 挤出工艺和压延工艺

挤出工艺和压延工艺对胶料的剩余焦烧时间有一定影响,如果挤出、压延温度偏高,胶料反应活化能降低,胶料起泡点时间缩短,整体硫化时间应该缩短或者应该调整硫化步骤,但需要考虑必要的安全系数。

2.4 测温热电偶导线埋入位置

根据待测轮胎结构,在胎坯最厚处应多埋入热电偶导线,尽可能消除几何结构带来的不确定因素。模型表面和胶囊表面附近应少埋线,埋入的热电偶要分散引出,避免因热电偶导线集中引出影响该区域温度的实际分布规律,固定热电偶导线的胶片越薄越好,过厚过多都会影响该区域的热传导。

2.5 热电偶探头的大小与安置方向

很多测温工作人员忽略热电偶探头的长度、处理方法以及安置方向对测温结果的影响,这是非常不正确的。由于热电偶探头长短、制作方法以及热电偶探头在胎坯中安置方向对采集的温度影响非常大,有时能够带来100%的试验误差,因此测温前必须把探头处理好。

2.6 硫化仪精度

在制定硫化条件和等效硫化时间计算时需要

使用硫化仪测定胶料反应活化能、胶料起泡点、 t_{50} 和 t_{90} 4个基本参数,而这些参数与制定硫化条件的关系非常密切,因此硫化仪精度对试验结果影响较大。

胶料反应活化能影响等效硫化时间计算结果,胶料起泡点影响硫化卸内压时间, t_{50} 影响硫化机开模时间,而 t_{90} 影响硫化程度的判定以及整个硫化周期、步骤的制定。

2.7 平板硫化机温度精度

尽管硫化仪可以测定胶料反应活化能、胶料起泡点、 t_{50} 和 t_{90} ,但是这些参数并非只是温度函数,其不仅与硫化仪温度恢复速率有关,而且与模腔形状和试样尺寸及仪器测试误差有关,因此必要时需用平板硫化机对硫化仪测定的起泡点、 t_{50} 和 t_{90} 进行验证。

2.8 测温仪精度与记录时间间隔

使用硫化测温仪采集试验轮胎整个硫化过程的温度,部分仪器有等效硫化时间计算和硫化程度判定功能,这些计算也可以使用Excel完成。

硫化测温仪选用的热电偶类型不同,其温度线性关系也不同,使用前应该用一级标准温度计在油浴中对不同温度段进行标定,然后求回归方程,用回归方程对采集的温度进行修正,另外每批热电偶导线因材质差异也应该用上述方法标定。

对于等效硫化时间计算方法,需要确定测温采集间隔时间,测温时间间隔长,计算数据少,等效硫化时间误差大,测温时间间隔短,计算数据多,等效硫化时间误差小。通常测温采集时间间隔根据轮胎规格确定,小规格轮胎测温采集时间间隔宜短,大规格轮胎测温采集时间间隔宜长。

2.9 硫化机(罐)整体工况

硫化机(罐)整体工况对硫化测温结果影响非常大,当制定一个初步硫化条件并按此条件进行测温试验时,硫化机(罐)工况必须满足试验条件,特别是硫化内外温度,如果内外温达不到工艺要求或者升温速度过慢,则测温结果毫无意义。如冷凝水外排不好,将会导致硫化机外温升高慢或者上下模型温度不一致。例如某大型轮胎企业部分硫化机曾由于外排不好,导致外温升高非常慢,升温15 min还没有达到工艺要求(工艺技术要求为

6 min),且上下模温差非常大,个别机台上下温差达7℃,这些因素都对硫化程度有很大影响。另外还存在部分内压回水管路堵塞问题,导致左右胶囊回水温度不一致,有时左右回水温差高达40℃,严重影响测温结果,也会影响到轮胎最终硫化质量,造成质量波动。

2.10 胶囊

硫化胶囊的影响主要是其厚度,国内大部分子午线轮胎技术基本上是以意大利倍耐力技术为基础的,引进时间为20世纪80—90年代,之后是国内消化吸收。技术引进时工艺要求硫化胶囊厚度为10~11 mm,现在国内硫化胶囊厚度约为7~8 mm,胶囊厚度小,相当于轮胎材料减少,轮胎硫化升温速度加快,硫化时间应该缩短,很多企业忽略了这一现象。

2.11 活化能

在计算等效硫化时间时,需要活化能这个参数,目前计算活化能的方法是测试不同温度下的 t_{90} ,然后用最小二乘法按下式线性回归求得: $\ln t_{90} = \ln A + E/RT$ (A 为指前因子)。在反应的不同阶段胶料活化能是不同的,不应该只用 t_{90} 计算活化能,应该以 t_{10} 和 $t_{90} - t_{10}$ 计算,计算等效硫化时间时将两活化能分段代入,用两段活化能计算出的等效硫化时间与只用 t_{90} 计算活化能而得到的结果具有差异,并且不同规格和不同硫化条件的等效硫化时间计算差异不同。

2.12 环境气候因素

季节气候主要对轮胎后硫化效应有影响,冬季车间环境温度低,硫化开模后轮胎降温快,后硫化效应小,夏季环境温度高,后硫化效应大。如11R20轮胎在相同的硫化条件下,夏季测温时肩部最厚处的等效硫化时间比冬季长3~5 min,如果停内压时最弱点满足起泡点要求,那么夏季硫化时间比冬季同样规格轮胎的硫化时间短。

2.13 装轮胎接线时间等其他因素

硫化测温前准备工作需充分,胎坯装入硫化机后接线时间越短越好,时间过长导致模型温度降低,影响测温结果的准确性。

测温孔大小、导角弧度对测温结果也有很大影响。测温孔过小,穿线、接线时间长,模型降温大;测温孔过大,胶料流失多,该区域胎坯的厚度

发生变化,影响该区域温度分布。测温孔弧度对热电偶导线保护有很大影响,如果导角弧度小,则穿线时间过长,且较困难,同时对热电偶导线损伤大,导线损伤会产生热电偶信号干扰,导致测试结果失真,得出错误结论。

测温时,测温仪不同通道之间的热电偶信号有时在某一时刻会产生相互干扰,对计算结果影响很大,足以导致试验结论错误,测温时应注意判断和修正。

3 硫化测温与轮胎质量的关系

橡胶的使用性能与硫化程度关系非常密切,硫化时间和硫化温度是影响硫化程度的关键因素。轮胎胶料的综合性能在 $t_{90} \sim t_{95}$ 之间达到最佳值,等效硫化时间在这个范围内最好。通过硫化测温调整轮胎硫化时间、温度、硫化步骤或者调整配方的匹配,使各部位胶料的等效硫化时间基本在上述范围内或者接近该范围,轮胎的综合性能才能达到最佳。

例如通过对硫化罐硫化斜交轮胎测温工艺改造,平均硫化时间缩短15~30 min,轮胎实际行驶里程增加,耐磨性能提高,室内机床试验轮胎表面温度降低,轮胎滞后损失减小。工艺改造前后12.00-20轮胎耐久性试验出现肩空时各部位温度如表1所示。

表1 12.00-20轮胎耐久性试验出现

工 艺	肩空时各部位温度		
	肩部	冠部	胎圈
正常硫化	77.2	78.2	80.6
测温改造	73.4	71.4	76.6

4 硫化测温与经济效益

通过硫化测温,合理利用胶料反应起泡点、胶料反应的 t_{50} 、 t_{90} 和等效硫化时间等参数可以较好地制定出硫化时间、硫化温度以及硫化各步骤参

数。如合理利用胶料起泡点可以实行轮胎变温变压硫化,提前关闭外压蒸汽、内压水循环,或提前降低轮胎硫化内压,以降低蒸汽消耗或动力消耗费用;合理利用胶料反应 t_{50} 、 t_{90} 和等效硫化时间制定硫化开模时间,充分利用橡胶传热具有滞后性的特点,利用后硫化效应对没有达到最佳硫化状态的轮胎加以补充硫化,使能源利用达到最佳化,硫化能源费用降低,硫化生产效率和设备利用率提高,产生较好的经济效益和社会效益。

国内很多企业轮胎硫化时间较长或者硫化程度较深,资源和能源浪费较严重。如某大型轮胎企业生产的斜交轮胎、全钢子午线轮胎、半钢子午线轮胎和工程机械轮胎均曾存在不同程度的硫化时间过长现象,该公司对大部分规格轮胎进行了硫化测温试验,调整了部分轮胎的硫化条件,其中一种规格轮胎的硫化时间由60 min调整为45 min,轮胎各项性能均有所提高,该规格轮胎硫化效率提高25%。该公司2007年全钢子午线轮胎产量为180万条,据初步计算,硫化工艺调整后,每年在不增加硫化机投入的情况下可提高轮胎产量15万条,按每台硫化机年产量1.4万条计算,可节省硫化机投资约1 210万元,每年可节约蒸汽、能源费用270万元,节约模具费用150万元,经济效益提高相当显著。

5 结语

轮胎硫化测温是一项非常细致的试验工作,多方面因素均对试验结果有影响,涉及到的知识面也较多,因此试验过程务必严谨细致,稍有疏忽将会导致错误的结论和判断。

轮胎硫化测温能够给企业带来巨大的经济效益和社会效益,符合国家节能减排要求,希望引起轮胎行业的重视。

收稿日期:2015-06-13

欢迎订阅《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》杂志

欢迎刊登广告