

轮胎硫化过程的有限元仿真

曾 钊, 江 楠, 邹少异, 张 海

(华南理工大学 工业装备与控制工程学院, 广东 广州 510640)

摘要:通过建立三维有限元实体模型(包括钢模、轮胎和胶囊三部分)来模拟子午线轮胎的硫化工艺过程。与工厂实际测温数据对比,该有限元模型能够很好地模拟子午线轮胎的硫化过程,并能够较精确地确定轮胎的内部温度场,对硫化新工艺的制定有一定的指导作用。

关键词:有限元仿真;子午线轮胎;硫化;温度场

中图分类号:TQ336.1⁺1;O241.82 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-890X(2004)11-0682-03

确定轮胎硫化过程中内部温度分布是橡胶硫化技术应用中的一个至关重要的问题。轮胎内部的硫化温度场和程度场的均匀程度直接影响其使用性能。由于轮胎结构和外形复杂,且各部位由不同材料组成,在硫化过程中边界条件难以准确确定,因此很难用微分方程求出轮胎硫化温度场的精确解析解,而用有限元法等数值解析方法可以有效地解决上述问题。

在本研究所建立的有限元模型中,对下述因素均做了考虑:①轮胎是一种由多种不同材料组成的多层结构体;②轮胎的热物理特性随着温度和位置的不同而变化;③轮胎的几何形状是不规则的;④边界条件通常随时间而变化,并且有两个完全不同的阶段(加热和冷却)。

1 轮胎硫化过程三维有限元模型的建立

轮胎的硫化过程研究属于三维瞬态热分析范畴,可以用 ANSYS 软件的热分析模块分析硫化温度场得到比较精确的数值解^[1],因此本研究利用 ANSYS 软件对轮胎硫化温度场进行模拟。

1.1 轮胎硫化仿真模型

轮胎装模硫化时外表面与金属模具接触,模具外充满一定压力的饱和蒸汽;轮胎内表面与胶

囊接触,胶囊内充加压的过热水。根据实际生产情况,本研究所建立的三维子午线轮胎硫化仿真模型包括钢模、轮胎和胶囊三部分,而钢模外的饱和蒸汽和胶囊内的过热水作为仿真模型的边界条件对其加载。10.00R20 16PR 轮胎截面及测温点分布如图 1 所示。

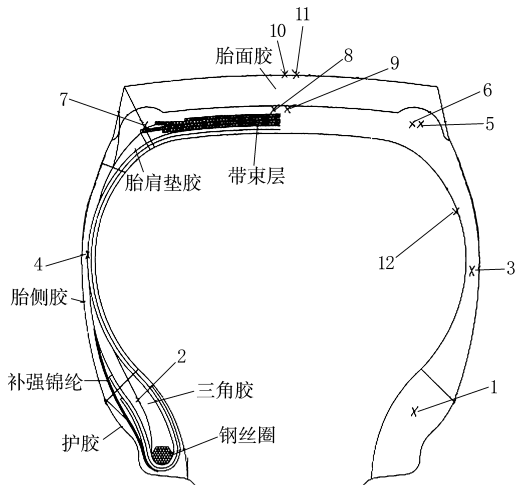


图 1 10.00R20 16PR 轮胎截面及测温点分布示意

按照子午线轮胎截面的材料分布情况,本模型将轮胎材料热物理特性相差较大的层分开(带束层和钢丝圈的主要成分为钢,而其余层的主要成分为橡胶),模型截面如图 2 所示。分层后轮胎的立体结构如图 3 所示。

1.2 轮胎硫化有限元模型

为了进行有限元分析计算,需要将仿真模型离散化,离散化过程使用体积单元来拟合连续体,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(20174011);广东省自然科学基金资助项目(011653)

作者简介:曾钊(1977-),男,北京人,华南理工大学在读硕士研究生,研究方向为高效传热传质设备与技术。

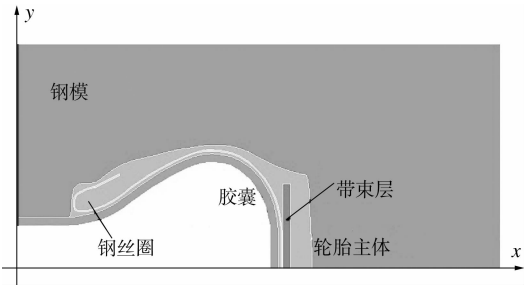


图 2 有限元仿真模型截面示意

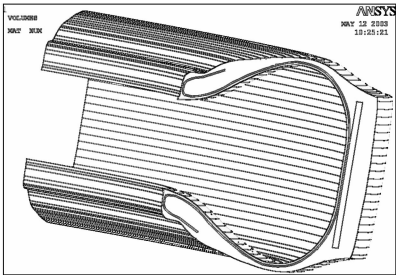


图 3 分层后轮胎模型的三维立体结构

拟合程度直接影响仿真的精度。ANSYS 软件中可用来拟合立体模型的单元有块单元和多面体单元等。由于轮胎结构复杂,其形状空间扭曲较大,因此选用 20 节点的等参数 Solid 90 单元,此单元的计算工作量比较大。

由于轮胎中各层结构很不规则,以手工划分网格很难控制精度,因此采用自适应方式划分网格,并将网格划分的级别由 6 级提高到 4 级,局部有限元模型的网格划分如图 4 所示,划分结果为 28 552 个单元 80 738 个节点。

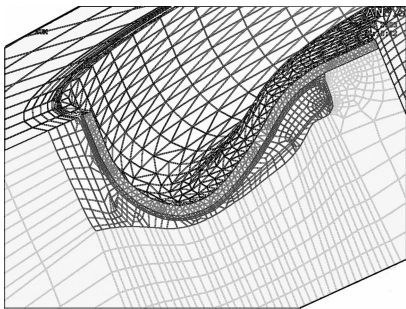


图 4 分网后的局部有限元模型

1.3 边界条件分析

轮胎硫化过程中,胶囊内充过热水,钢模外通过热蒸汽^[2],因此轮胎硫化仿真模型的主要边界条件^[3]为蒸汽-钢模和(强制循环的)过热水-胶

囊界面的对流传热,前者对流传热系数的取值范围为 5 000~15 000 W·m⁻²,后者为 1 000~15 000 W·m⁻²。根据工厂实际生产数据以及研究对比确定的主要参数选取方案如表 1 所示,该方案可使模型在大多数工艺条件下的计算数据与试验结果相吻合。

表 1 模型主要参数选取

项 目	轮胎	钢丝圈	带束层	钢模	胶囊
密度/(Mg·m ⁻³)	1 500	7 000	7 000	7 850	1 100
导热系数/ [W·(m·K) ⁻¹]	0.25	20	20	50	0.25
比热容/[J·(kg·K) ⁻¹]	1 450	600	600	460	1 250

注:蒸汽与钢模间对流传热系数为 8 000 W·(m²·K)⁻¹,热水与胶囊间为 6 500 W·(m²·K)⁻¹;胶囊厚度为 8.8 mm。

2 模型仿真效果分析

2.1 有限元计算与试验结果对比

恒温硫化过程轮胎内部部分测温点的温度-时间历程的有限元计算数据与试验结果的对比如图 5 所示。有限元计算所取的初始条件(钢模初始温度为 120 ℃,轮胎初始温度为 30 ℃,胶囊初始温度为 100 ℃)及工艺过程与试验方案相同。

由于 1[#]测温点与 2[#]测温点,3[#]测温点与 4[#]测温点及 5[#]和 6[#]测温点与 7[#]测温点分别为对称点,在理论上其温度历程是一样的,因此,对恒温试验中对称部位的测温点取平均值,用 1[#]测温点所测数据代表 1[#]与 2[#]测温点的平均值;3[#]测温点所测数据代表 3[#]与 4[#]测温点的平均值;5[#]测温点所测数据代表 5[#],6[#]和 7[#]测温点的平均值(5[#]测温点与 7[#]测温点为对称点,6[#]测温点与 7[#]测温点位置十分接近,由于该部位为硫化过程中的最难硫化点,因此试验中在此相近位置多埋一点);8[#]测温点所测数据代表 8[#]与 9[#]测温点的平均值;10[#]测温点所测数据代表 10[#]与 11[#]测温点的平均值。

除 1[#]和 3[#]测温点以外,由图 5 可见,其余各测温点的有限元计算数据与试验结果都非常接近,说明本有限元模型能够较准确地模拟轮胎在恒温硫化工艺过程中的内部温度场特征。

2.2 误差分析

(1)10[#]和 12[#]测温点的有限元计算误差都

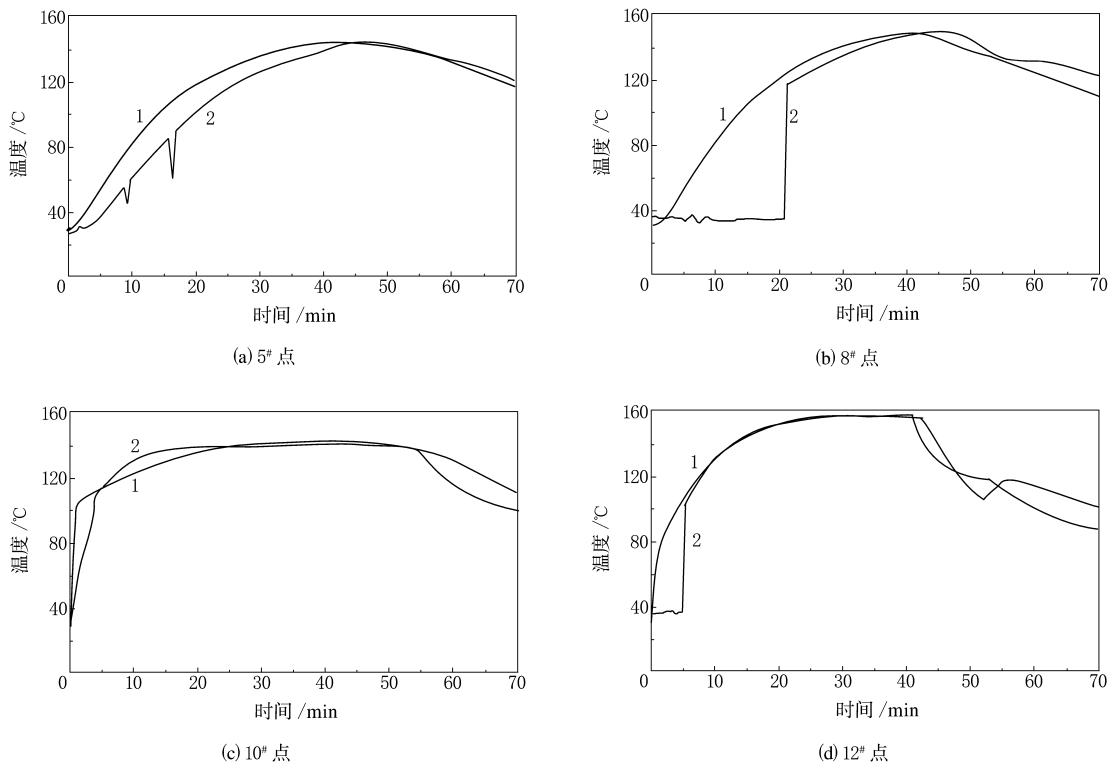


图5 温度-时间历程有限元计算数据与试验结果对比

1—有限元计算;2—恒温试验。

相当小,这是由于这两个部位是轮胎的边界点,其精确度主要受轮胎、钢模和胶囊外形及边界条件的影响,而这几个因素都已确定,并且这两个部位的位置也较好确定,因此其计算精确度很高。

(2)8#测温点虽然是内部点,但其位于胎面基部胶与带束层之间,位置比较好确定,各次测温位置几乎可以保持一致。另外,它位于带束层中部,此处带束层的厚度也比较好确定。因此,模型中该部位的位置及周围材料分布和材料形状都与实际情况很接近,除前20 min外,其计算精确度也很高。

(3)5#测温点的计算误差稍微大一些,这是由于该点是内部点,位置确定比较困难,而且该点位于带束层的端点,由图1可以看出,带束层的端部形状较为复杂,而本有限元模型将带束层的端部截面简化为长方形(见图4),因此该部位的周围材料分布在模型中有所变化,使该点硫化初期的有限元计算数据比试验结果稍高。

(4)在实际试验中,外压蒸汽和过热水不能马上达到需要的压力,有一定时间的滞后,这与有限

元模型分析时所取的理想情况有一定的差距。

(5)硫化试验采用人工埋线,各次测温点的位置难免会产生偏差。

(6)模型中将所有的胶料看成一种材料,由试差法得到其当量热物理特性,与真实值有一定的差异。

3 结语

经过与工厂实际测温数据对比,表明本研究所建立的有限元模型能够很好地模拟子午线轮胎的硫化过程,并能够较精确地确定轮胎的内部温度场,因此该有限元模型可用于预测轮胎硫化温度场,对硫化新工艺的制定有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 唐兴伦,范群波,张朝晖,等. ANSYS 工程应用教程——热与电磁学篇[M]. 北京:中国铁道出版社,2003.
- [2] 江楠,张海,岑汉钊. 轮胎外胎外温变温硫化研究[J]. 橡胶工业,2000,47(7):411-414.
- [3] 杨世铭. 传热学[M]. 北京:人民教育出版社,1980.