

# 轮胎施工设计的仿真

李慧波

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所 200072]

**摘要** 利用计算机技术,建立了更加精确的轮胎结构施工设计方法。对内衬层和胎体层,改变传统设计中厚度在成品断面图中均匀分布的假设,分别计算各段的厚度,使施工设计精度得到提高;对胎侧胶等其它部件,通过对施工设计部件和口型设计部件的体积与成品体积的比较,确定施工设计部件的形状并进行口型设计,使材料分布更加有利于应力分散。给出了 11.00R22 轮胎的施工设计算例。

**关键词** 轮胎,施工设计,口型设计,计算机仿真

近年来,随着轮胎工业和计算机技术的高速发展,人们对计算机在轮胎结构设计、施工设计和力学分析中的应用越来越重视,而要完成计算机在轮胎施工设计中的应用,就必须对轮胎各部件在施工过程中的变化情况建立数学模型,进行仿真计算,对轮胎各部件进行精确的数量化,使轮胎各设计部件成型后的形状与轮胎断面图相吻合。

该问题的解决是应用计算机对轮胎进行整体设计的一个重要环节,也是进行力学分析的必要基础,也可为将来采用电子预硫化技术,使轮胎的内衬层均匀分布、减小轮胎质量提供数学分析模型。

对轮胎的轮廓、受力情况、参数的优化及各主要部件的确定,均按本公司隆有明先生的 TECO 理论——轮胎整体结构优化设计理论选取。本工作仅以 11.00R22 为例,对轮胎成型后内衬层、胎体层的分布及其它部件的施工设计进行仿真计算,以验证数学模型的正确性。

## 1 原理

### 1.1 内衬层和胎体层分布原理

众所周知,橡胶和钢丝均是不可压缩体,因此可认为轮胎的各部件在成型前后体积不变。由于内衬层、胎体层在成型过程中各点的膨胀不同,面积伸张不同,因此膨胀后各点的厚度不同,但其宽度和体积在膨胀前后不变。另外,胶料在硫化过程中的化学反应会导致胶料体积发生一些变化,大量添加剂的加入使胶料密

度受到硫化压力的影响。内衬层和胎体层在硫化过程中各点的压力基本相同,发生的化学反应也几乎相同,由于胎体层胶料和内衬层胶料的体积变化率小于 0.5%,而在实际生产工艺中胶料的密度变化范围控制在  $\pm 1\%$  左右,因此我们认为硫化前后内衬层和胎体层各点的体积变化率可忽略不计。

根据上述原理可计算出轮胎内衬层、胎体层硫化后各点的厚度,并绘出其曲线。

### 1.2 其它部件的施工设计

除内衬层、胎体层外,轮胎其它部件如胎面胶、胎侧胶、三角胶、胎圈包胶、胎侧填充胶、胎肩垫胶等都要求根据轮胎的材料分布图来进行半制品的口型设计,其基本原理仍是要求各部件在成型前后保持其体积不变。由于轮胎在成型中这些部件都有变形,部件长度、宽度都会发生变化,其变化量各不相同,因此必须根据各部件及其生产工艺条件来确定。

## 2 数学模型的建立

### 2.1 内衬层和胎体层分布

轮胎内衬层和胎体层分布的计算流程如图 1 所示。

内衬层和胎体层曲线长度的计算值即为胎圈间内衬层和胎体层的宽度。

#### 2.1.1 分段

由于轮胎的内轮廓是一条曲线,为提高收敛速率,经多次试验,把内轮廓曲线在水平轴以上纵向按等差数列划分,水平轴以下纵向按等比数列划分,在接近钢丝圈部位,再一分为二,并使水平轴上下两部分分段数相接近,见图 2。

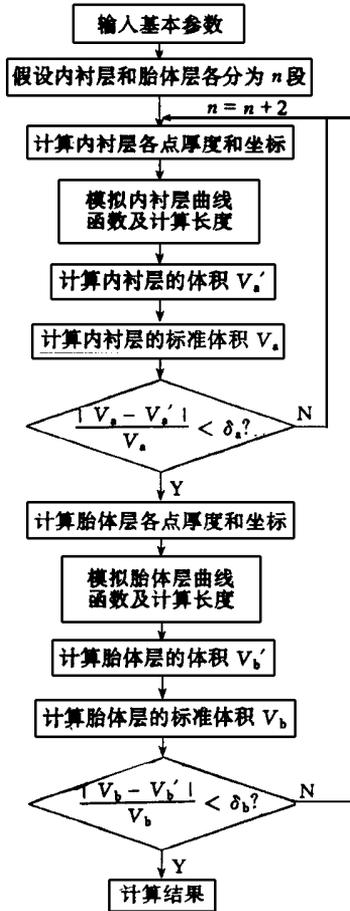


图1 内衬层和胎体层分布流程示意图  
 $\delta_a$ 和 $\delta_b$ 分别为内衬层和胎体层体积计算精度



图2 分段示意图

1—胎体层;2—内衬层;3—钢丝布

2.1.2 确定内衬层成型后各点的厚度

由于内衬层在成型过程中宽度和体积在膨胀前后不变,因此第*i*点处的厚度计算公式为

$$t_a(i) = T_a(i) [D_j + T_a(i)] / 2y(i)$$

式中  $T_a(i)$  ——第*i*点处内衬层压延总厚度,mm;

$y(i)$  ——第*i*点处旋转半径,mm;

$D_j$  ——成型鼓机头直径,mm。

2.1.3 确定胎体层成型后各点的厚度

全钢子午线轮胎的胎体层帘布是由橡胶和

钢丝组成的,由于橡胶和钢丝的拉伸模量是几个数量级的差别,因此胎体层充气膨胀后,主要是橡胶发生变形,钢丝的粗度几乎不变。假设在成型过程中胎体帘布充气膨胀后,钢丝部分完全没有变形,胶料膨胀前后体积保持不变,则胎体层第*i*点处厚度的计算公式为

$$t_b(i) = [2T_a(i) + T_b + D_j] T_b / 2y(i)$$

式中  $T_b$  ——胎体层压延厚度,mm。

2.2 其它部件的施工设计

其它部件的施工设计流程图见图3。

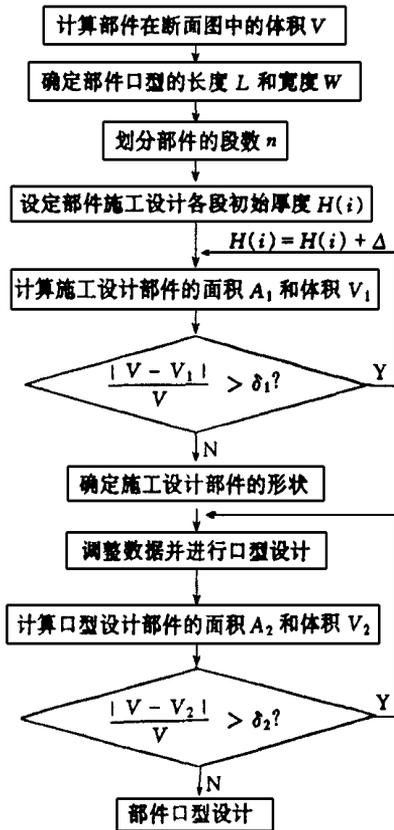


图3 其它部件施工设计流程示意图

$\delta_1$ 和 $\delta_2$ 分别为施工设计和口型设计部件体积计算精度

2.2.1 部件体积的确定

在用 Auto CAD 绘制的材料分布图中可以非常方便地运用 Auto CAD 将部件旋转生成三维实体,得到部件的体积  $V$ 。对于轮胎的胎面,由于有复杂的花纹沟,一般采用先算出无花纹沟时的体积,再减去花纹沟的体积。由于花纹沟比较复杂,对纵向沟可用上述方法得到体积,对横向沟则采用面积乘长度计算,对细节则用估算的方法,因此这样得到的体积有一定的误差,需经多次调整方能满足工艺的精度。

### 2.2.2 部件口型设计

部件的长度主要根据成型的贴合长度,再根据工艺条件稍加修正得到。

部件的宽度主要根据成型中由于膨胀部件宽度要变小而压辊的压力使部件变宽这两点,根据工艺条件来修正确定,不同的部件、不同的工艺条件,其修正因数各不相同。

根据材料分布图的形状来设定部件形状,调整部件的厚度,使其体积保持不变。

对于比较复杂的部件,如胎面、胎侧,可进行分段处理,以提高设计精度和收敛速率。

### 2.2.3 部件的定位

部件的定位可利用各部件与复合件的相对位置来确定,可从 Auto CAD 图中测出两者的距离。

## 3 算例

### 3.1 内衬层和胎体层分布

以 11.00R22 为例,轮胎模型尺寸外直径 1 134 mm,断面宽 286 mm,轮辋宽 203 mm,水平轴半径 431 mm,胎冠厚 32.5 mm,胎侧厚 9.1 mm,成型鼓直径 535 mm。为优化计算结果,当某点内衬层累计长度大于第 1 层内衬层长度时,该点跳开。以胎里胎冠点至钢丝圈的计算为例,当  $n = 13$  时,内衬层:  $V_a = 272\ 337\ \text{mm}^3$ ,  $V_a = 2\ 715\ 087\ \text{mm}^3$ ,其绝对误差为 0.30%;胎体层:  $V_b = 1\ 704\ 194\ \text{mm}^3$ ,  $V_b = 1\ 707\ 215\ \text{mm}^3$ ,绝对误差为 0.18%。两者均足以满足工艺精度要求。

内衬层和胎体层分布以及传统的内衬层和胎体层均匀分布的内衬层曲线对比如图 4 和 5 所示。

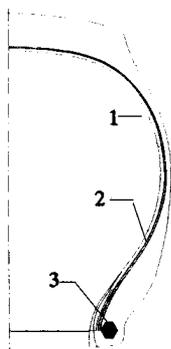


图 4 内衬层和胎体层的分布  
1—胎体层; 2—内衬层; 3—钢丝配布

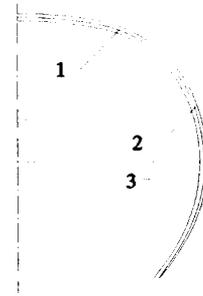


图 5 内衬层曲线的比较  
1—内衬层曲线; 2—传统的内衬层曲线;  
3—内轮廓曲线

### 3.2 其它部件的施工设计

以 11.00R22 的胎侧胶口型设计为例,因为胎侧胶部位的旋转半径相差很大,故为提高精度,以水平轴为分界线对其进行分段计算。上、下半段分别分为 4 和 3 段。

#### 3.2.1 胎侧胶的口型设计

胎侧胶的长度与内衬层长度相同,为 1 680 mm。

由于胎侧胶部位的旋转半径相差很大,各段厚度的初始计算值为

$$H(i) = 2h(i)R(i) / D_j(w/W)$$

$$R(i) = R(i-1) + W(i) - W(i-1)$$

式中  $h(i)$  ——第  $i$  点在断面图上的厚度, mm;

$R(i)$  ——第  $i$  点旋转半径, mm;

$w$  ——材料分布图中曲线总宽度, mm;

$W$  ——口型设计的总宽度, mm;

$W(i)$  ——口型设计中第  $i$  段的宽度, mm。

胎侧胶的施工设计口型图见图 6。

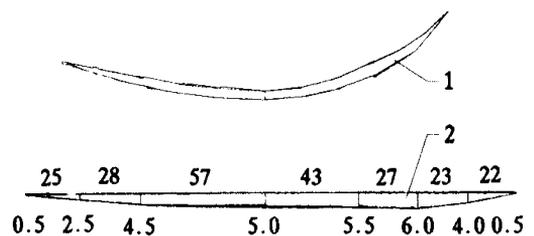


图 6 胎侧胶部件及口型设计图

1 材料分布图中的胎侧胶; 2 胎侧胶的口型设计

胎侧胶口型设计与材料分布图中的宽度和体积如表 1 所示。

#### 3.2.2 胎侧胶的定位

在材料分布图中,胎侧胶外侧距中心线距

表1 胎侧胶的宽度和体积

项 目	上半部分	下半部分
材料分布图中宽度/mm	91.96	95.41
口型设计宽度/mm	115.0	110.0
材料分布图中体积/mm <sup>3</sup>	916 123	682 152
口型设计体积/mm <sup>3</sup>	916 440	682 500
体积绝对误差/%	0.035	0.051

离 = 胎圈包胶内侧 + 胎圈包胶宽 - 胎圈包胶与胎侧胶重合部分 + 胎侧胶宽 = 290.1 + 187 - 37.7 + 225 = 664.4(mm), 实际取 665 mm。

在材料分布图中,胎侧上端点距胎肩点 25.62 mm,下端点在防水线上,距胎趾中点约 73.0 mm。胎圈包胶与胎侧填充胶重合 75 mm。

胎坯的胎侧胶上端点距胎肩点 26 mm,下端点在防水线上。

轮胎断面分析中胎侧胶的形状和定位均达到设计要求,其口型设计和定位均为一次调试

通过。

#### 4 结语

从上述的计算结果看,采用该数学模型能快速有效地模拟轮胎内衬层和胎体层在施工过程中的变化状况,对轮胎内衬层和胎体层的分布进行仿真,改变原来内衬层和胎体层在断面图中均匀分布的状况,使材料分布图中的分布情况与实际更接近,同时使设计的其它部件成型后与材料分布图相吻合。

该模型的建立,使轮胎部件的施工设计得以精确的数量化,缩短了调试时间,减少了人力和物力的投入。

该模型还有待于对轮胎胎面的施工设计进一步完善。

收稿日期 1999-08-13

## Simulation of Tire Construction Design

Li Huibo

[Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd. 200072]

**Abstract** A more precise tire construction design method is established by using computer technology. For inner linear and carcass ply, the precision of construction design is improved by changing the assumption that the thickness is evenly distributed in the profile of finished product and calculating the thickness in various segments separately; for other components, such as sidewall, the shape of component in construction design is determined and its die is designed based on the volume comparison of the component in construction design, the component in die design with the component in finished product to make the material distribution more beneficial to the stress dispersion. An example is given for calculating in construction design of 11.00R22 tire.

**Keywords** tire, construction design, die design, computer simulation

### 新产品 AIR-1 粘合增进剂

日前,辽宁省大连市瓦房店合成化工厂开发了一种 AIR-1 粘合增进剂新产品,并投资 600 万元建成了该产品的生产装置。该产品经辽宁轮胎集团有限责任公司等单位通过工业化应用证明,将 5 份(基本用量) AIR-1 粘合增进剂分别直接应用于载重斜交轮胎缓冲层、外层和内层帘布层胶料配方中,在其它组分及用量不变的情况下,橡胶与尼龙帘线之间的 H 抽出力在正硫化条件为 137 × 30 min 时平均提

高 22.2%,在热空气老化条件为 90 × 72 h 时平均提高 13.9%,在过硫化条件为 150 × 120 min 时平均提高 30.5%,用其试制的载重斜交轮胎(9.00 - 20 16PR)成品,粘合强度提高 28.57%,耐久性提高 28.75%,高速性能提高 22.3%。按 AIR-1 粘合增进剂市场价 3 000 元/t 计算,可平均降低混炼胶成本 2.02%。该产品现已批量投放市场。

(辽宁轮胎集团有限责任公司技术中心  
杨树田供稿)