(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2017 年 3 月 23 日 (23.03.2017)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2017/045600 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 17/50 (2006.01) *B60C 99/00* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/098969

(22) 国际申请日: 2016 年 9 月 14 日 (14.09.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201510582746.2 2015 年 9 月 14 日 (14.09.2015) CN
201610046211.8 2016 年 1 月 22 日 (22.01.2016) CN
201610371330.0 2016 年 5 月 30 日 (30.05.2016) CN

(71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

(72) 发明人: **周海超 (ZHOU, Haichao)**; 中国江苏省镇江市京口区江苏大学汽车与交通工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 **梁晨 (LIANG, Chen)**; 中国江苏省镇江市京口区江苏大学汽车与交通工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 **杨建 (YANG, Jian)**; 中国江苏省镇江市京口区江苏大学汽车与交通工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 **翟辉辉 (ZHAI, Huihui)**; 中国江苏省镇江市京口区学府路 61 号镇江高等专科学校, Jiangsu 212013 (CN)。 **王国林 (WANG, Guolin)**; 中国江苏省镇江市京口区江苏大学汽车与交通工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 **周伟 (ZHOU, Wei)**; 中国江苏省镇江市京口区江苏大学汽车与交通工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

[见续页]

(54) **Title**: METHOD FOR IMPROVING PRODUCTION PROCESS FOR WIDE-BASE TRUCK RADIAL TIRE

(54) **发明名称**: 一种宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法

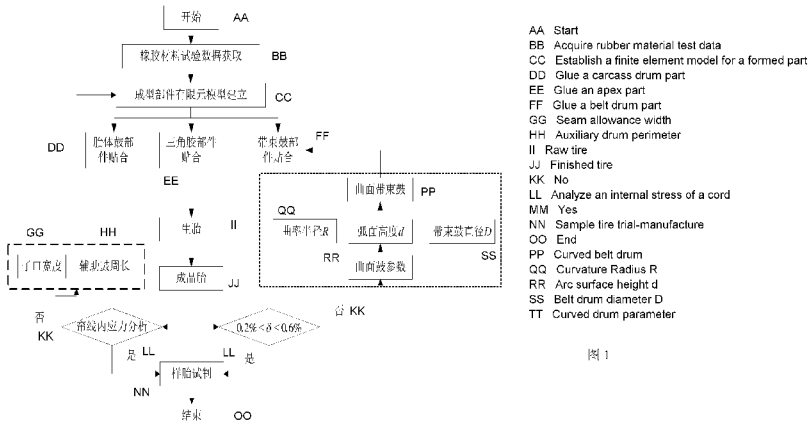


图 1

(57) **Abstract**: A method for improving a production process for a wide-base truck radial tire. A tire production process can be improved by means of the form of a carcass ply, a design method for a belt ply drum of a tire building machine, and a design method for semi-finished parts of a tire. The method effectively resolves the problem of bending of a carcass ply, and provides a theoretical guidance and technical support for improvement of the performance of a wide-base radial tire. The design method for a belt ply drum of a tire building machine effectively controls the cord stretching rate of a belt ply, thoroughly resolves the problem of uneven stress on cords of the belt ply during shaping, eliminates the abnormal phenomenon of flowing of a sizing material of a tire shoulder of a wide-base tire to the center of a crown in a built-in shaping process, improves the durability of the tire, and has extremely strong implementation and operation properties. The design method for semi-finished parts of a tire can accurately design a material distribution drawing of the semi-finished parts of the tire, significantly improve the consistency of material distribution between a finished tire and a theoretically designed tire, reduce the number of times of trial-manufacture of the tire, shorten the development period, and reduce the development cost.

(57) **摘要**:

[见续页]

WO 2017/045600 A1

(84) **指定国** (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种宽基载重子午线轮胎生产工艺改进的方法，通过胎体帘布层形态、轮胎成型机带束层鼓的设计方法和轮胎半成品部件设计方法实现对轮胎生产工艺的改进。该方法有效解决了胎体帘布层弯曲问题，为提升宽基子午线轮胎性能奠定理论指导和技术支持；轮胎成型机带束层鼓的设计方法有效控制了带束层的帘线伸张率，彻底解决定型时带束层帘线受力不均匀的问题，消除了机内定型过程中宽基轮胎胎肩胶料向胎冠中心流动的异常现象，提高了轮胎的耐久性能，具有极强的可实施和可操作性；轮胎半成品部件设计方法可以能精确设计轮胎半成品部件材料分布图，显著提高成品胎与理论设计轮胎材料分布的一致性，减小轮胎试制次数，缩减开发周期，降低开发成本。

一种宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法

技术领域

本发明涉及宽基载重子午线轮胎生产工艺流程制造领域，尤其是一种宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，通过调整宽基载重子午线轮胎生产工艺的方法，改善轮胎制造水平，提高了成品轮胎质量。

背景技术

近年来，低碳经济不断推动轮胎向降低油耗、减少排放、提高安全性方向发展，轮胎宽基化是实现这一目标的重要途径之一。宽基载重子午线轮胎是指高宽比为 0.65 及以下的轮胎。宽基载重轮胎的主要表征是扁平化、无内胎化、宽轮辋。在车辆上宽基载重轮胎单胎代替普通轮胎并装双胎，主要用于载重汽车的驱动轮、挂车轮和半挂车轮上。

米其林 X-one 宽基轮胎的技术特点是胎冠部位采用 0° 带束层，即以 400m 的无接头钢丝以 0° 角连续缠绕在胎冠上，以保证胎面接稳定、应力分布均匀，使轮胎抓着性能提高，胎面磨损更均匀，行驶里程延长。

宽基轮胎单胎代替普通轮胎并装双胎，具有轮胎和轮辋总成质量小、承载能力大、安装空间小等优点，成为宽基载重子午线轮胎发展的主流趋势。但宽基载重子午线轮胎制造工艺复杂，要求精度高。在宽基子午线轮胎实际生产过程中，胎体帘线弯曲是最常见的缺陷之一，这种缺陷直接影响轮胎的各项性能。在进行轮胎施工设计过程中，多使用基于经验的“试错法”来解决胎体帘线弯曲问题。山东宏宇橡胶有限公司的岳耀平通过施工设计参数有效解决了宽基载重子午线轮胎胎体帘线变形问题。江苏韩泰轮胎有限公司的浦哲通过调整成型过程中充气鼓上压合条件，达到减小胎体帘线弯曲问题。这种方法具有适用范围窄、精度低和获取信息量小等缺点，利用这种方法试验次数多且误差很大，往往无法取得理想的结果。

子午线轮胎成型机（三鼓式）上有三种功能的成型鼓：胎体鼓——把胎侧、内衬层、胎圈、耐磨胶、胎体层组成胎体筒的成型鼓；带束鼓——在此鼓上完成带束层/胎冠的贴合；主成型鼓——完成定型、压实等，形成最后的胎坯。

带束鼓一般若干块扇形块组成，通过更换扇形块或调节螺母来实现带束层鼓直径的调节。带束鼓一般为圆柱形鼓，这导致成型过程中不同位置带束层的伸张率不一样，胎冠中心处伸张较大，胎侧处较小。然而，宽基胎带束层较宽，在轮胎带束层/胎冠的贴合时，加剧了帘线受力不均匀的现象，特别是在采用了零度缠绕宽基轮胎上。图 9 为某公

司生产的零度缠绕宽基胎断面图，在胎冠中心处，带束层箍紧作用强；带束层端点处，带束层箍紧作用弱。在轮胎硫化机内定型时，由于子午线轮胎胎体帘布中的帘线角度应为90°，帘线之间仅仅靠橡胶胶料连结，稍有拉伸便使帘布变形，就会导致胎肩处胶料向胎冠处流动，造成轮胎里凹凸不平，影响轮胎结构和均匀性。

施工设计是轮胎设计到成品胎之间的桥梁，施工设计精确与否，直接影响到成品胎的质量。由于轮胎成型过程中，胶料流动非常大，轮胎设计人员通常采用试错法反复调整施工设计来保证轮胎的制造精度，提高产品一致性，产品开发时间长，开发成本大。因此，精确设计轮胎半成品部件显得至关重要。

近年来，轮胎CAE技术得到了飞速的发展，使用数值方法模拟轮胎成型过程得到了广泛的应用。中国专利公开号为CN101923589A的专利文献公开了宽基子午线轮胎成型过程的模拟方法。江苏大学杜小伟采用ABAQUS软件对385/55 R22.5全钢宽基载重子午线轮胎的成型过程和硫化机内定型过程进行了有限元模拟，仿真结构和实际结构具有很好的一致性。三角轮胎股份有限公司的高明以Abaqus为仿真分析平台，模拟了215/35R18轮胎的成型过程，分析了轮胎设计工艺参数对成型轮胎胎坯形状的影响。然而，这些轮胎成型过程的数值模拟主要是可视化实现轮胎在硫化罐外的成型过程，以及分析不同的轮胎设计施工参数对成型轮胎的影响，且大多都是针对常规型号非宽基子午线轮胎开展的。对于判定宽基子午线轮胎胎体帘线弯曲与否评价标准至今尚未公开报道；尚未对成型过程的胶料流动异常现象进行分析，并未提出通过成型机辅助鼓的改进实现胶料流动的改善，从而提高成品轮胎质量。而且，至今没有关于轮胎半成品部件的相关研究。

发明内容

通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以宽基载重子午线轮胎制造过程的胎体帘线受力正负为依据，确定胎体帘布层的形态是否弯曲，通过在有限元软件中改进轮胎施工参数，调整轮胎制造工艺参数，直至达到胎体帘线力分布全部为正，即胎体帘线无弯曲，确定轮胎制造工艺。

通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以宽基载重子午线轮胎制造过程的胎冠胶料流动异常现象为依据，确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数。

通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以判定宽基载重子午线轮胎制造过程的半成品材料部件形状为准则，确定轮胎半成品部件设计结构参数。

本发明是通过以下技术手段实现上述技术目的的。

一种宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，主要包括以下三个步骤：

（1）通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以宽基载重子午线轮胎制造过程的胎体帘线受力正负为依据，确定胎体帘布层的形态是否弯曲，通过在有限元软件中改进轮胎施工参数，调整轮胎制造工艺参数，直至达到胎体帘线力分布全部为正，即胎体帘布层无弯曲，确定轮胎制造工艺；

（2）通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以宽基载重子午线轮胎制造过程的胎冠胶料流动异常现象为依据，确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数；

（3）通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以判定宽基载重子午线轮胎制造过程的半成品材料部件形状为准则，确定轮胎半成品部件设计结构参数。

进一步地，还包括将确定的轮胎制造工艺、轮胎成型机带束层鼓的结构参数用于实际生产宽基载重子午线轮胎，将模拟仿真的胎体帘线弯曲形态、胎冠胶料流动异常现象与实际生产的宽基载重子午线轮胎的胎体帘线弯曲形态、胎冠胶料流动异常现象进行对比，验证宽基载重子午线轮胎工艺改进方法的可行性。

进一步地，将半成品部件设计方法获得结构参数用于实际生产宽基载重子午线轮胎生胎，将实际生产的生胎的部件形状及分布与模拟仿真的部件形状及分布进行对比，验证半成品部件设计方法的可行性。

进一步地，所述轮胎成型过程数值仿真方法，主要包括以下步骤：

（1.1）橡胶材料试验数据获取：

对每种胶料至少进行一次剪切松弛试验和单轴拉伸试验，获得轮胎各部件的剪切松弛模量和应力-应变曲线，选用广义 Maxwell 模型和 Marlow 超弹性模型表征未硫化橡胶的粘性行为和超弹性性能；

（1.2）轮胎各部件的有限元模型建立

（1.2.1）将轮胎设计材料分布图分为 3 个子系统，具体包括胎面子系统（2）、胎体组子系统（3）和三角胶子系统（4），以设计材料分布图为基准，对 3 个子系统分别进行定位；所述胎面子系统（2）包括胎面胶和胎面胶片，所述胎体组子系统（3）包括胎体、内衬、胎肩垫胶和加强层，所述三角胶子系统（4）包括软三角胶、硬三角胶、隔离胶片和胎圈；子系统中的每个半成品部件使用至少一个弹性元，且部件之间紧密连接；根据施工要求建立所述轮胎各部件有限元模型，将宽基载重子午线轮胎简化为二维轴对称模型，橡胶部件有限元模型中四边形单元为 CGAX4H，三角形单元为 CGAX3H，二维面单元为 SFMGAX1，采用 Maxwell 流变模型和 Marlow 超弹性本构模型描述橡胶材料属性，Rebar Layer 模型模拟钢丝帘线；胎体鼓、带束鼓采用解析刚体模拟，胎体鼓部件、带束

鼓部件和三角胶部件计算模型由 HYPERMESH 软件进行网格划分，然后将网格模型导入 ABAQUS 计算；

（1.2.2）对所述 3 个子系统分别进行网格离散化，划分的网格尺寸为 6-9mm，局部应力集中处需细化网格；

（1.2.3）根据轮胎成型机带束层鼓结构参数，采用解析刚体来模拟带束层鼓结构力学特征；

（1.2.4）采用直接约束法模拟接触行为；

（1.3）轮胎生胎成型过程的仿真

（1.3.1）根据三鼓式一次成型法成型机的工艺流程，在成型机主鼓上进行侧胶、耐磨胶、胶片、内衬层、下内衬层、加强层、胎体层、胎肩垫胶的贴合，形成主鼓部件子系统；

在带束鼓上进行 1 号带束层、2 号带束层、3 号带束层、4 号带束层、以及胎冠胶的贴合，形成带束鼓部件子系统；

（1.3.2）将（1.3.1）中的胎体鼓部件子系统、带束鼓部件子系统和三角胶部件子系统三个子系统模型分别导入到 ABAQUS 软件中，先将贴合后的胎体鼓部件、带束鼓部件在成型鼓上进行装配，按照施工表上的定位参数将三角胶部件定位到成型鼓上，对胎体鼓部件上的轮胎内衬层施加 0.1Mpa-0.2Mpa 均布压力的方法模拟充气；同时胎圈向中间移动依次经过预定型、定型和超定型位置，胎侧的反包过程采用分段施加 0.2Mpa-0.4Mpa 均布压力方法模拟反包胶囊的反包过程，反包结束后，形成生胎；

（1.3.3）将（1.3.2）得到的生胎放入硫化罐内，与硫化模具进行装配，然后通过对轮胎内表面施加均布压力的方法进行定型仿真，按照施工设计先给轮胎内衬层施加 0.9Mpa 的均布压力对生胎预定型，然后施加 2.6Mpa 的大气压对胎坯进行最终定型，形成成品胎。

进一步地，确定胎体帘布层形态方法的步骤：

所述步骤（1.3.3）得到成品轮胎后，导出硫化机内定型后的成品轮胎在胎冠处的胎体帘线内力，获得胎体帘线内力的分布特征，若帘线内力均为正，说明成品轮胎的胎体帘线不会弯曲；若帘线内力均为负，成品轮胎的胎体帘线发生弯曲。

进一步地，确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数方法具体包括以下步骤：

（2.1）初步确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数：将轮胎成型机带束鼓的中间段设计为凸出的曲面结构，所述带束鼓表面的截面轮廓线由两段直线段与位于两直线段之间

的一段弧形段组成，弧形段的宽度 d 为理论材料分布图中主带束层的宽度 80%-120%；弧形段的曲率半径 R 为主带束层的曲率半径的 70%-130%；所述带束鼓的直径 D、两段直线段的长度l_1、l_2为：

$$D=\frac{D_1}{1+\psi}$$

$$l_1=l_2=\frac{L-d}{2}$$

其中，L为带束鼓总宽度，D_1为理论材料分布图中测出的 1 号带束层直径；ψ为带束层伸张率，取值 0-0.2%；

（2.2）根据步骤（2.1）初步确定的带束鼓结构参数，建立中间段为凸出的曲面的带束鼓模型；

（2.3）根据步骤（1.3.3）轮胎生胎成型过程的仿真得到生胎材料分布图，进行曲面鼓参数优化；在轮胎子午线方向上，生胎中主带束层与理论设计材料分布中该带束层的距离为Δr，主带束层在（1.3.3）的定型过程中帘线的预期伸张率$\delta=\frac{\Delta r}{R_1}=\frac{R_0-R_1}{R_1}\times 100\%$，以机内定型过程中带束层定型预期伸张率满足$0.2\%\le\delta\le 0.6\%$、胎面胶料流动均匀作为判断曲面鼓形状参数合理与否的指标，如果不达标，调整步骤（2.1）中的弧线段的宽度 d、弧形段的曲率半径 R和带束鼓的直径 D，重复仿真，直至达到预期伸张率满足$0.2\%\le\delta\le 0.6\%$、胎面胶料流动均匀。

进一步地，步骤（2.1）中初步确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数中，所述轮胎成型机带束层鼓的弧形段的宽度 d 为理论材料分布图中第 2 号带束层或第 3 号带束层的宽度 80%-120%；所述弧形段的曲率半径 R 等于由第 2 号带束层或第 3 号带束层的曲率半径的 70%-130%。

进一步地，子午线轮胎半成品部件结构参数的方法，包括以下步骤：

（3.1）半成品部件逆向设计：分别步骤（1.2.1）的 3 个子系统分别进行逆向设计，边界条件与成型过程相反，逆向推出轮胎半成品部件形状；所述边界条件包括压辊滚压压力、充气成型压力、橡胶与成型鼓之间的摩擦系数；结合部件挤出口型基本参数，对得到的各半成品部件形状进行修整，得到半成品部件材料分布图；

（3.2）正向成型仿真验证：对得到的半成品部件材料分布进行正向成型仿真，将得

到的成品胎与理论设计轮胎进行对比，验证设计方法的可行性。

进一步地，所述 3 个子系统模型具有多种橡胶模型及帘线-橡胶复合材料。

进一步地，所述 3 个子系统部件模型均采用轴对称模型。

进一步地，所述橡胶模型物理模型采用粘弹性本构模型，至少包括应力-应变数据、泊松比和松弛模量。

进一步地，所述帘线-复合材料采用 Rebar 模型来表征，至少包括帘线密度、横截面积和角度。

本发明方法是利用硫化机内定型后成品胎胎冠处的胎体帘线内力的正负作为判定宽基子午线轮胎胎体帘线是否弯曲的评价方法。本发明具有应用范围广、精度高和泛化能力强等优点，能够克服传统“试错法”的缺陷，有效地解决宽基子午线轮胎帘线弯曲问题，从而提高轮胎生产质量。此外，本发明还具有应用范围广、精度高和泛化能力强等优点，能够克服传统“试错法”的缺陷，有效地解决宽基子午线轮胎胎面胶料畸形流动现象，从而提高成品轮胎质量。本发明方法在工艺上具有可行性，只需在原有直鼓上贴一层满足曲面鼓外表面形状参数的弧形胶片即将直鼓改造为曲面鼓。

本发明还具有应用范围广、精度高等优点，能克服传统方法的缺陷，精确设计轮胎半成品部件材料分布图，显著提高成品胎与理论设计轮胎材料分布的一致性，减小轮胎试制次数，缩减轮胎开发周期，降低轮胎开发成本。

附图说明

图 1 为本发明所述宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法的流程图。

图 2 为胶料单轴拉伸试验曲线拟合图。

图 3 为胶料剪切松弛试验曲线拟合图。

图 4 为所述主鼓部件、辅助鼓部件、三角胶部件的有限元模型。

图 5 为主鼓部件贴合过程，图 5（a）为部件贴合前位置，图 5（b）为部件贴合后位置。

图 6 为辅助鼓部件贴合过程，图 6（a）为部件贴合前位置，图 6（b）为部件贴合后位置。

图 7 为轮胎生胎成型过程，图 7（a）为定位，图 7（b）充气，图 7（c）胎侧反包，图 7（d）生胎 。

图 8 为硫化机内定型成品轮胎过程，图 8（a）为轮胎生胎与硫化模具的装配，图 8（b）为定型后的成品轮胎。

图 9 为硫化机内定型后胎体帘线内力选取部位示意图。

图 10 为两胎肩与胎冠范围内胎体帘线内力曲线。

图 11 为实际轮胎胎体帘线形态。

图 12 为优化施工参数后硫化机内定型后两胎肩与胎冠范围内胎体帘线内力。

图 13 为优化施工参数后的实际轮胎胎体帘线形态。

图 14 曲面鼓主要形状设计参数

图 15 为主带束层在定型过程中帘线的预期伸张率示意图。

图 16 为理论设计材料分布图

图 17 为轮胎机内定型过程（原始方案、直鼓），图 17（a）为合模，图 17（b）为仿真成品胎。

图 18 为机内定型过程中 3 号带束层帘线位置变化（原始方案，直鼓）

图 19 为实际生产轮胎断面比较，图 19（a）为原始方案（直鼓），图 19（b）为曲面鼓方案

图 20 为成型机辅助鼓曲面鼓贴合

图 21 为轮胎机内定型过程（曲面鼓），图 21（a）为合模，图 21（b）为仿真成品胎。

图 22 为机内定型过程中 3 号带束层帘线位置变化（曲面鼓）。

图 23 为带束层帘线力比较 图 23（a）为原始方案（直鼓），图 23（b）为曲面鼓方案。

图 24 为理论材料分布分模块示意图。

图 25 为胎面子系统形状的确定。

图 26 为胎体组子系统形状的确定。

图 27 为三角胶子系统形状的确定。

图 28 为轮胎部件仿真断面与理论设计断面对比，其中，图 28(a)为仿真断面的部件形状及分布；图 28(b)为理论设计断面的部件形状及分布。

图中：

1-轮胎；2-胎面子系统；3-胎体组子系统；4-三角胶子系统；5-刚体；6-胎面；7-主鼓；8-胎圈；9-加强层；10-内衬层；11-胎体；12-胎肩垫胶；13-软三角胶；14-硬三角胶；15-成型鼓；16-胶囊；17-模具；18-曲面鼓。

具体实施方式

下面结合附图以及具体实施例对本发明作进一步的说明，但本发明的保护范围并不限于此。

如图 1 所示，本发明所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，主要包括以下三个步骤：

通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以宽基载重子午线轮胎制造过程的胎体帘线受力正负为依据，确定胎体帘布层的形态是否弯曲，通过在有限元软件中改进轮胎施工参数，调整轮胎制造工艺参数，直至达到胎体帘线力分布全部为正，即胎体帘线无弯曲，确定轮胎制造工艺。

通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以宽基载重子午线轮胎制造过程的胎冠胶料流动异常现象为依据，确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数。

通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以判定宽基载重子午线轮胎制造过程的半成品材料部件形状为准则，确定轮胎半成品部件设计结构参数。

以 435/50R19.5 全钢宽基载重子午线轮胎的成型过程为例说明具体实施步骤，该型号轮胎额定气压和额定载荷分别为 0.83MPa 和 45kN。

宽基载重子午线轮胎成型过程仿真过程

S1：材料试验数据获取

进行轮胎未硫化橡胶的剪切松弛试验和单轴拉伸试验，获得轮胎各部件的剪切松弛模量和应力-应变曲线，利用 ABAQUS 软件中的材料拟合模块对试验数据进行参数识别，选用广义 Maxwell 模型和 Marlow 超弹性模型表征未硫化橡胶的粘性行为和超弹性性能。图 2 为胎面 6 胶和内衬层 10 胶的单轴拉伸试验曲线，图 3 为胎面 6 胶和内衬层 10 胶的剪切松弛试验曲线，Maxwell 模型和 Marlow 超弹性模型的拟合精度均很好，因此，说明所选本构模型的精确性。

S2：轮胎部件有限元模型的建立

（1）宽基载重子午线轮胎主要包括主鼓部件、辅助鼓部件和三角胶部件，主鼓部件包括胎侧胶、耐磨胶、胶片、内衬层、下内衬层、加强层、胎体层、胎肩垫胶；辅助鼓部件包括 1 号带束层、2 号带束层、3 号带束层、4 号带束层、以及胎冠胶；三角胶部件包括钢丝圈、三角胶以及三角胶胶片。根据施工要求建立所述轮胎各部件有限元模型，将宽基载重子午线轮胎简化为二维轴对称模型，橡胶部件有限元模型中四边形单元为 CGAX4H，三角形单元为 CGAX3H，二维面单元为 SFMGAX1，采用 Marlow 本构模型描述橡胶材料属性，Rebar Layer 模型模拟钢丝帘线，主鼓和辅助鼓采用解析刚体模拟；主鼓所有部件、辅助鼓所有部件和三角胶所有部件计算模型由 Hypermesh 软件进行网格划分；如图 4 所示，其中图 4（a）为所述主鼓部件的有限元模型，图 4（b）为辅助鼓部

件的有限元模型，图 4（c）为三角胶部件的有限元模型。网格尺寸控制在 6-9mm 为佳，初始网格以均匀为益。针对成型过程中变形较大的部位采用网格细化。

（2）接触模拟：轮胎成型过程中，各部件之间的粘性很强，因此采用直接约束法模拟接触行为。

S3：轮胎生胎成型过程仿真。

首先，将主鼓部件、辅助鼓部件和三角胶部件有限元模型导入 Abaqus 软件进行空间位置定位，以重现三个子系统部件在成型机上的安装位置。综合考虑贴合过程的工艺方法和仿真分析精度，采用施加额定气压的 1%-2.5%均布压力的方法进行贴合仿真。根据三鼓式一次成型法成型机的工艺流程，在成型机主鼓上进行侧胶、耐磨胶、胶片、内衬层、下内衬层、加强层、胎体层、胎肩垫胶的贴合，形成主鼓部件子系统，如图 5 所示。在辅助鼓上进行 1 号带束层、2 号带束层、3 号带束层、4 号带束层、以及胎冠胶的贴合，形成辅助鼓部件子系统，如图 6 所示。

其次，将贴合后的主鼓部件子系统、辅助鼓部件子系统和三角胶部件子系统三个子系统模型分别导入到 Abaqus 软件中，通过固定三个子系统部件的位置，先将贴合后的主鼓部件、辅助鼓部件在成型鼓 15 上进行装配，按照施工表上的定位参数将三角胶部件定位到成型鼓 1 上，对主鼓部件上的轮胎内缘施加额定气压进行充气，固定辅助鼓部件和三角胶部件，如图 7 所示，实现胎侧反包工艺过程，形成胎坯，即轮胎生胎。反包工艺过程，从耐磨胶到胎侧，采用分段施加 1%-3%的额定气压的均布压力方法模拟反包胶囊 16 的反包过程。

最后，将轮胎生胎放入硫化罐内，与硫化模具 17 进行装配，然后通过对胶囊 16 内表面施加均布压力的方法进行定型仿真，如图 8 所示。定型时先将胶囊 16 内抽真空，再将胎胚套在胶囊 16 外面，按照施工设计给胶囊 16 内部施加额定气压 10%的小气压对胎胚进行定位，合模后胶囊 2 内部压强增加到额定气压 120%的大气压进行机内硫化定型，仿真得到成品轮胎。

1、确定胎体帘布层形态方法

S4：成品轮胎胎体帘线内力分析：

导出硫化机内定型后的成品轮胎在胎冠处的胎体帘线内力，获得胎体帘线内力的分布特征，若帘线内力均为正，说明成品轮胎的胎体帘线不会弯曲；若帘线内力均为负，成品轮胎的胎体帘线发生弯曲。

具体的，为提取硫化机内定型后成品胎胎冠处的胎体帘线的节点序列创建一个 Path，

即 CC-FF 段，如图 9 所示。再以这个 Path 为横坐标，以胎体帘线的内力为纵坐标，采用 Excel 软件绘制 CC-FF 段内胎体帘线内力沿断面宽度方向的分布特性，如图 10 所示。由图 10 所示，硫化机内定型后，胎冠中心处胎体帘线内力为负值。依据本发明所述的方法判定：成品轮胎胎体帘线在该处应该为弯曲的。该型号轮胎实际产品的胎体帘线分布状态，如图 11 所示，胎体帘线在胎肩位置出现了弯曲，与本发明所述的方法预测结果一致。

为充分发挥本发明所述方法的对实际生产的指导意义，对该型号轮胎的施工设计参数进行了调整，通过优化辅助鼓周长和子口平宽两个施工参数，对该型号轮胎成型仿真分析，使胎冠处的胎体帘线内力均为正，胎体帘线内力如图 12 所示。根据调整后的施工参数试制样胎，修改施工设计参数后试制样胎轮胎的胎体帘线状态如图 13 所示，胎体帘线不存在弯曲，与预测基本一致。这说明了本发明专利所阐述判定宽基载重子午线轮胎胎体帘线弯曲的方法具有较为理想的精度，能够满足实际工程运用的需求，可在轮胎行业内推广实施，并对宽基载重子午线轮胎的生产工艺的制定和调整具有指导意义。

2、轮胎成型机带束层鼓的设计方法

S5：在轮胎成型机带束鼓的中间段设计凸出的曲面结构，如图 14 所示。所述带束鼓表面的截面轮廓线由两段直线段与位于两直线段之间的一段弧形段组成，所弧形段的宽度 d 为理论材料分布图中主带束层的宽度 80%-120%；弧形段的曲率半径 R 为主带束层的曲率半径的 70%-130%；所述带束鼓的直径 D、和两段直线段的长度 l_1、l_2 为：

$$D=\frac{D_1}{1+\psi}$$

$$l_1=l_2=\frac{L-d}{2}$$

其中，L 为带束鼓总宽度，D_1 为理论材料分布图中测出的 1 号带束层 1 直径；ψ 为带束层伸张率，取值 0-0.2%。

为了更好的确定所述成型机带束鼓弧形段的形状参数，通过轮胎成型过程仿真方法来优选确定曲面鼓主要设计参数的。

根据 S3 轮胎生胎成型过程仿真得到生胎材料分布图，即图 7（d），在轮胎子午线方向上，如图 15 所示，生胎中主带束层与理论设计材料分布图如图 16 所示，该带束层的距离为 Δr，主带束层在 S3 轮胎生胎成型过程中的定型阶段帘线的预期伸张率 $\delta=\frac{\Delta r}{R_1}=\frac{R_0-R_1}{R_1}\times 100\%$，以机内定型过程中带束层定型预期伸张率满足 $0.2\%\le\delta\le 0.6\%$、

胎面胶料流动均匀作为判断曲面鼓形状参数合理与否的指标，如果不达标，调整步骤 S5 中弧线段的宽度 d、弧形段的曲率半径 R 和带束鼓的直径 D，重复步骤 S3 轮胎生胎成型过程仿真，直至达到预期伸张率满足 $0.2\% \le \delta \le 0.6\%$、胎面胶料流动均匀，再进行轮胎生产。

S6：为说明本发明方法的有效性，运用步骤 S3 轮胎生胎成型过程仿真方法模拟了带束鼓为直鼓（原始方案）的轮胎成型过程，其中步骤 S3 中带束鼓为直鼓，得到成品胎仿真材料分布图如图 17（b）所示。图 18 为步骤 S3 中原始施工设计的 3 号带束层 3 的帘线位置变化，带束层中部帘线的预期伸张率 δ 远大于 0.6%，造成带束层中间部位不能被顶起，通过仿真得到的成品胎材料分布图如图 17（b），与图 16 中所示的理论设计轮胎结构有很大差距。这种差距产生原因是随着硫化温度提高，胎面胶料由两侧向胎冠中心移动，造成胎面 6 畸形。图 19（a）为原始施工设计（直鼓）的实际生产断面，胎面胶料有两侧向胎冠中心流动明显，带束层弯曲，与理论设计结构相差甚远。

图 20 为采用曲面鼓进行轮胎辅助鼓贴合后的部件位置，图 21 为步骤 S3 轮胎生胎成型过程仿真中带束鼓为曲面鼓，得到仿真成品胎材料分布图。轮胎图 19（b）为采用曲面鼓方案后的实际生产断面扫描图。由图 19（b）可以发现，实际生产的成品胎断面较好，不存在胎肩胶料向中部移动的情况。图 22 为采用曲面鼓的 3 号带束层 3 的帘线位置变化，带束层中部帘线的最大预期伸张率为 0.3%。图 23 为两种方案在定型过程中带束层帘线受力对比图，采用曲面鼓设计后，胎冠中心处带束层中部受力显著减小，且在子午线方向变化梯度减小，使得成品胎中帘线内应力减小。这说明了本发明专利所阐述宽基载重子午线轮胎成型机带束鼓及设计方法，能有效的解决宽基载重子午线轮胎胎面 6 畸形和改善带束层帘线应力分布不均的情况，可在轮胎行业内推广实施。

4、轮胎半成品部件的设计方法

轮胎半成品部件的设计方法包括橡胶材料试验数据获取、有限元模型的建立、半成品部件逆向设计和正向成型仿真验证 4 个步骤。

S7：材料试验数据获取

进行轮胎未硫化橡胶的剪切松弛试验和单轴拉伸试验，获得轮胎各部件的剪切松弛模量和应力-应变曲线，利用 ABAQUS 软件中的材料拟合模块对试验数据进行参数识别，选用广义 Maxwell 模型和 Marlow 超弹性模型表征未硫化橡胶的粘性行为和超弹性性能。图 1 为胎面 6 胶和内衬层 10 胶的单轴拉伸试验曲线，图 2 为两者的剪切松弛试验曲线，

Maxwell 模型和 Marlow 超弹性模型的拟合精度均很好，因此，说明所选本构模型的精确性。

S8：有限元模型的建立

（1）单元类型选取：橡胶单元采用的四边形单元为 CGAX4H，三角形单元为 CGAX3H，REBAR 单元为 SFMGAX1。

（2）接触模拟：轮胎成型过程中，各部件之间的粘性很强，因此采用直接约束法模拟接触行为。

（3）网格划分：将轮胎的理论材料分布分为三个子系统进行逆向设计，如图 24 所示，分别是胎面 6 子系统 2、胎体 11 组子系统 3、三角胶子系统 4。胎面 6 子系统 2 包括胎面 6，胎体 11 组子系统 3 包括胎体 11、内衬、胎肩垫胶 12 和加强层 9，三角胶子系统 4 包括胎圈 8、软三角胶 13 和硬三角胶 14。分别对 3 个子系统进行网格划分，可能发生应力集中处，进行网格细化。

S9：半成品部件逆向设计

（1）胎面 6 子系统 2 材料分布的确定

由理论材料分布得到的胎面 6 形状和位置如图 25(a)所示，以理论设计材料分布中的胎面 6 胶形状为基础，采用成型仿真的方法，将胎面 6 逆向成型到刚体 5 平面上，即将胎面 6 形状还原为轮胎 1 半成品部件形状。仿真时，在胎面 6 内侧设置一平面刚体 5，刚体 5 向图示方向移动到胎面 6 内侧中心位置，并在胎面 6 外侧施加均布压力，逆向仿真得到胎面 6 胶半成品部件的形状如图 25(b)所示。根据图 25(b)所示形状和胎面 6 挤出口型的基本设计参数进行修整，得到胎面 6 胶半成品部件的形状如图 25(c)所示。需要说明的是，本发明忽略了胎面 6 花纹，若要考虑花纹，根据理论材料分布中花纹沟体积和花纹沟的相对位置，胶料在成型过程中体积相等，减去花纹沟胶料，确定胎面 6 胶半成品部件形状。

（2）胎体 11 组子系统 3 材料分布的确定

内衬层 10、胎体 11 层在成型过程中各点的径向伸张不同，胎冠处伸张最大，胎圈 8 处伸张小。因此，充气膨胀后各点的厚度不同，但其宽度和体积在膨胀前后保持不变。胎肩垫胶 12 在成型时，既有径向的伸张，又有弯曲，变形复杂。逆向成型仿真时，根据理论材料分布确定胎体 11 层、内衬层 10 和胎肩垫胶 12 位置，在胎体 11 外侧施加均布气压，如图 26(a)所示，同时胎圈 8 向两侧移动，将胎体 11、内衬层 10 展开到主鼓 7 上，结果如图 26(b)所示。根据生产实际，对部件形状修整，得到的半成品部件材料分布如图

26(c)。

（2）三角胶子系统 4 材料分布的确定

在轮胎 1 成型过程中，三角胶绕胎圈 8 转动，径向膨胀很小。逆向成型仿真时，根据理论材料分布确定三角胶的位置，胎圈 8 固定，三角胶外侧施加均布压力（如图 27(a)所示），将三角胶压到其绕胎圈 8 翻转前的位置，如图 27(b)所示。对三角胶形状进行修整，得到半部件形状如图 27(c)所示。

（4）轮胎 1 其他半成品部件形状的确定

轮胎 1 在胎侧反包时，反包胶囊对胎侧胶和耐磨胶存在挤压作用，半成品部件逆向成型仿真方法具有一定的局限性。带束层在成型时宽度、厚度基本保持不变，其形状可以直接由材料分布图直接得到。

（4.4）正向成型仿真验证

对步骤 S9 的半成品部件进行步骤 S3 的正向成型仿真，得到的断面如图 28（a）所示，图 28（b）为理论设计半成品部件形状及分布图，对比可知，两者一致性很好。

所述实施例为本发明的优选的实施方式，但本发明并不限于上述实施方式，在不背离本发明的实质内容的情况下，本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，主要包括以下三个步骤：

（1）通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以宽基载重子午线轮胎制造过程的胎体帘线受力正负为依据，确定胎体帘布层的形态是否弯曲，通过在有限元软件中改进轮胎施工参数，调整轮胎制造工艺参数，直至达到胎体帘线力分布全部为正，即胎体帘布层无弯曲，确定轮胎制造工艺；

（2）通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以宽基载重子午线轮胎制造过程的胎冠胶料流动异常现象为依据，确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数；

（3）通过对宽基载重子午线轮胎成型过程数值仿真，以判定宽基载重子午线轮胎制造过程的半成品材料部件形状为准则，确定轮胎半成品部件设计结构参数。

2. 根据权利要求 1 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，还包括将确定的轮胎制造工艺、轮胎成型机带束层鼓的结构参数用于实际生产宽基载重子午线轮胎，将模拟仿真的胎体帘线弯曲形态、胎冠胶料流动异常现象与实际生产的宽基载重子午线轮胎的胎体帘线弯曲形态、胎冠胶料流动异常现象进行对比，验证宽基载重子午线轮胎工艺改进方法的可行性。

3. 根据权利要求 1 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，将半成品部件设计方法获得结构参数用于实际生产宽基载重子午线轮胎生胎，将实际生产的生胎的部件形状及分布与模拟仿真的部件形状及分布进行对比，验证半成品部件设计方法的可行性。

4. 根据权利要求 1 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，所述轮胎成型过程数值仿真方法，主要包括以下步骤：

（1.1）橡胶材料试验数据获取：

对每种胶料至少进行一次剪切松弛试验和单轴拉伸试验，获得轮胎各部件的剪切松弛模量和应力-应变曲线，选用广义 Maxwell 模型和 Marlow 超弹性模型表征未硫化橡胶的粘性行为和超弹性性能；

（1.2）轮胎各部件的有限元模型建立

（1.2.1）将轮胎设计材料分布图分为 3 个子系统，具体包括胎面子系统（2）、胎体组子系统（3）和三角胶子系统（4），以设计材料分布图为基准，对 3 个子系统分别进行定位；所述胎面子系统（2）包括胎面胶和胎面胶片，所述胎体组子系统（3）包括胎体、内

衬、胎肩垫胶和加强层，所述三角胶子系统（4）包括软三角胶、硬三角胶、隔离胶片和胎圈；子系统中的每个半成品部件使用至少一个弹性元，且部件之间紧密连接；根据施工要求建立所述轮胎各部件有限元模型，将宽基载重子午线轮胎简化为二维轴对称模型，橡胶部件有限元模型中四边形单元为 CGAX4H，三角形单元为 CGAX3H，二维面单元为 SFMGAX1，采用 Maxwell 流变模型和 Marlow 超弹性本构模型描述橡胶材料属性，Rebar Layer 模型模拟钢丝帘线；胎体鼓、带束鼓采用解析刚体模拟，胎体鼓部件、带束鼓部件和三角胶部件计算模型由 HYPERMESH 软件进行网格划分，然后将网格模型导入 ABAQUS 计算；

（1.2.2）对所述 3 个子系统分别进行网格离散化，划分的网格尺寸为 6-9mm，局部应力集中处需细化网格；

（1.2.3）根据轮胎成型机带束层鼓结构参数，采用解析刚体来模拟带束层鼓结构力学特征；

（1.2.4）采用直接约束法模拟接触行为；

（1.3）轮胎生胎成型过程的仿真

（1.3.1）根据三鼓式一次成型法成型机的工艺流程，在成型机主鼓上进行侧胶、耐磨胶、胶片、内衬层、下内衬层、加强层、胎体层、胎肩垫胶的贴合，形成主鼓部件子系统；

在带束鼓上进行 1 号带束层、2 号带束层、3 号带束层、4 号带束层、以及胎冠胶的贴合，形成带束鼓部件子系统；

（1.3.2）将（1.3.1）中的胎体鼓部件子系统、带束鼓部件子系统和三角胶部件子系统三个子系统模型分别导入到 ABAQUS 软件中，先将贴合后的胎体鼓部件、带束鼓部件在成型鼓上进行装配，按照施工表上的定位参数将三角胶部件定位到成型鼓上，对胎体鼓部件上的轮胎内衬层施加 0.1Mpa-0.2Mpa 均布压力的方法模拟充气；同时胎圈向中间移动依次经过预定型、定型和超定型位置，胎侧的反包过程采用分段施加 0.2Mpa-0.4Mpa 均布压力方法模拟反包胶囊的反包过程，反包结束后，形成生胎；

（1.3.3）将（1.3.2）得到的生胎放入硫化罐内，与硫化模具进行装配，然后通过对轮胎内表面施加均布压力的方法进行定型仿真，按照施工设计先给轮胎内衬层施加 0.9Mpa 的均布压力对生胎预定型，然后施加 2.6Mpa 的大气压对胎坯进行最终定型，形成成品胎。

5. 根据权利要求 4 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，确定胎体帘布层形态方法的步骤：

所述步骤（1.3.3）得到成品轮胎后，导出硫化机内定型后的成品轮胎在胎冠处的胎体帘线内力，获得胎体帘线内力的分布特征，若帘线内力均为正，说明成品轮胎的胎体帘线不会弯曲；若帘线内力均为负，成品轮胎的胎体帘线发生弯曲。

6. 根据权利要求 5 中所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数方法具体包括以下步骤：

（2.1）初步确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数：将轮胎成型机带束鼓的中间段设计为凸出的曲面结构，所述带束鼓表面的截面轮廓线由两段直线段与位于两直线段之间的一段弧形段组成，弧形段的宽度 d 为理论材料分布图中主带束层的宽度 80%-120%；弧形段的曲率半径 R 为主带束层的曲率半径的 70%-130%；所述带束鼓的直径 D、两段直线段的长度l_1、l_2为：

$$D=\frac{D_1}{1+\psi}$$

$$l_1=l_2=\frac{L-d}{2}$$

其中，L 为带束鼓总宽度，D_1 为理论材料分布图中测出的 1 号带束层直径；ψ 为带束层伸张率，取值 0-0.2%；

（2.2）根据步骤（2.1）初步确定的带束鼓结构参数，建立中间段为凸出的曲面的带束鼓模型；

（2.3）根据步骤（1.3.3）轮胎生胎成型过程的仿真得到生胎材料分布图，进行曲面鼓参数优化；在轮胎子午线方向上，生胎中主带束层与理论设计材料分布中该带束层的距离为Δr，主带束层在（1.3.3）的定型过程中帘线的预期伸张率$\delta=\frac{\Delta r}{R_1}=\frac{R_0-R_1}{R_1}\times 100\%$，以机内定型过程中带束层定型预期伸张率满足$0.2\%\le\delta\le 0.6\%$、胎面胶料流动均匀作为判断曲面鼓形状参数合理与否的指标，如果不达标，调整步骤（2.1）中的弧线段的宽度 d、弧形段的曲率半径 R 和带束鼓的直径 D，重复仿真，直至达到预期伸张率满足$0.2\%\le\delta\le 0.6\%$、胎面胶料流动均匀。

7. 根据权利要求 6 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，步骤（2.1）中初步确定轮胎成型机带束层鼓的结构参数中，所述轮胎成型机带束层鼓的弧形段的宽度 d 为理论材料分布图中第 2 号带束层或第 3 号带束层的宽度 80%-120%；所述弧形段的曲率半径 R 等于由第 2 号带束层或第 3 号带束层的曲率半径的 70%-130%。

8. 根据权利要求 1 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，子午线轮胎半成品部件结构参数的方法，包括以下步骤：

（3.1）半成品部件逆向设计：分别步骤（1.2.1）的 3 个子系统分别进行逆向设计，边界条件与成型过程相反，逆向推出轮胎半成品部件形状；所述边界条件包括压辊滚压压力、充气成型压力、橡胶与成型鼓之间的摩擦系数；结合部件挤出口型基本参数，对得到的各半成品部件形状进行修整，得到半成品部件材料分布图；

（3.2）正向成型仿真验证：对得到的半成品部件材料分布进行正向成型仿真，将得到的成品胎与理论设计轮胎进行对比，验证设计方法的可行性。

9. 根据权利要求 8 所述的子午线轮胎半成品部件设计方法，其特征在于，所述 3 个子系统模型具有多种橡胶模型及帘线-橡胶复合材料。

10. 根据权利要求 8 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，所述 3 个子系统部件模型均采用轴对称模型。

11. 根据权利要求 8 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，所述橡胶模型物理模型采用粘弹性本构模型，至少包括应力-应变数据、泊松比和松弛模量。

12. 根据权利要求 9 所述的宽基载重子午线轮胎生产工艺改进方法，其特征在于，所述帘线-复合材料采用 Rebar 模型来表征，至少包括帘线密度、横截面积和角度。

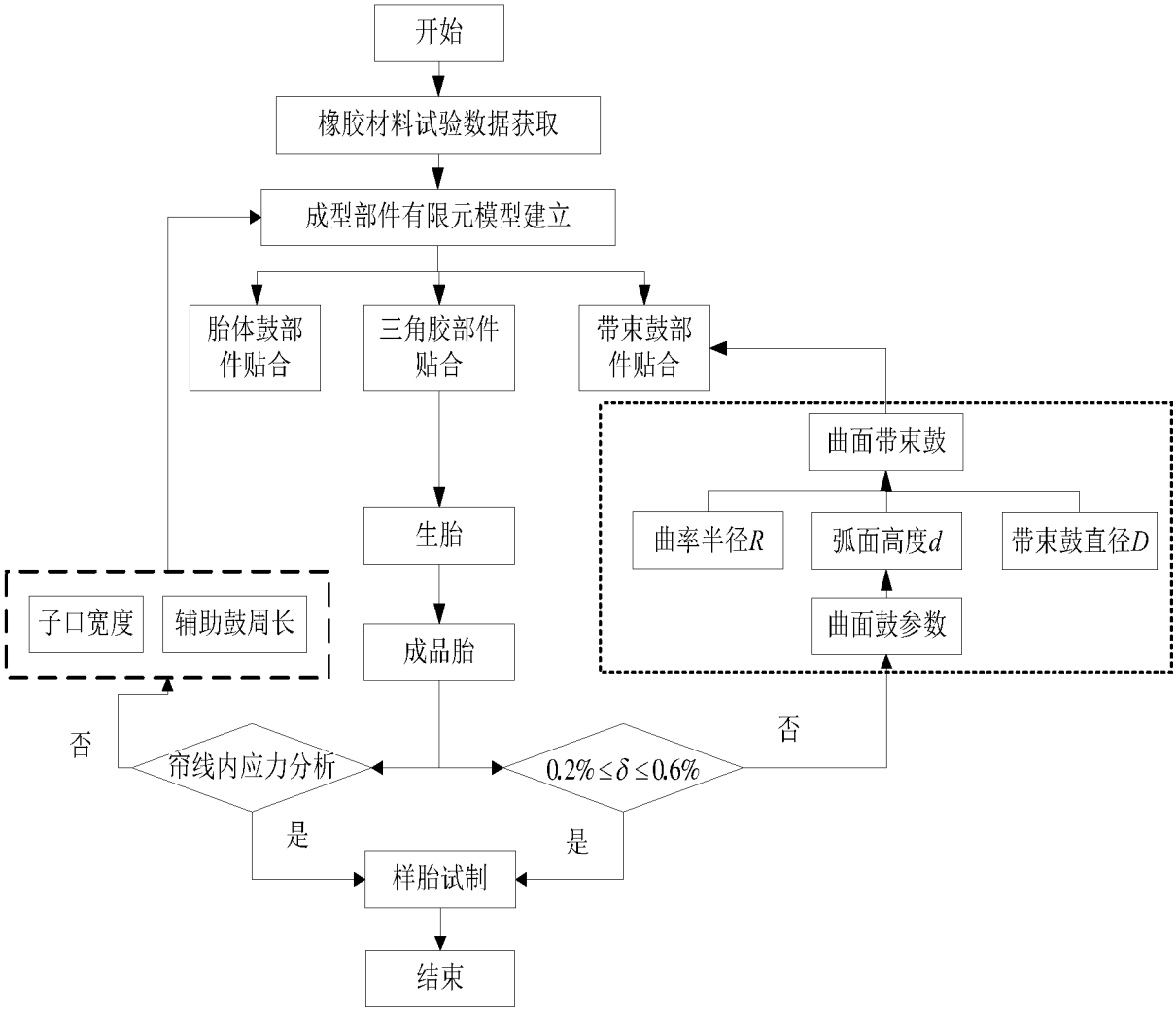

开始
橡胶材料试验数据获取
成型部件有限元模型建立
胎体鼓部件贴合
三角胶部件贴合
带束鼓部件贴合
曲面带束鼓
曲率半径R
弧面高度d
带束鼓直径D
曲面鼓参数
生胎
子口宽度
辅助鼓周长
成品胎
否
帘线内应力分析
0.2%≤δ≤0.6%
否
是
是
样胎试制
结束

图 1

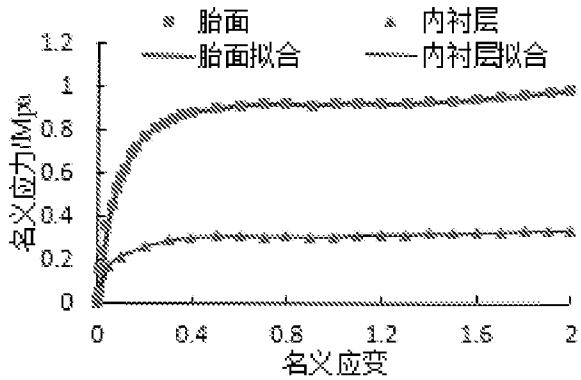

胎面
内衬层
胎面拟合
内衬层拟合
名义应力/Mpa
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.4
0.8
1.2
1.6
2
名义应变

图 2

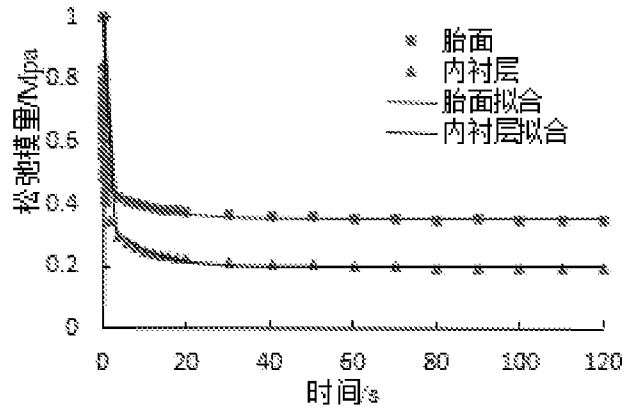
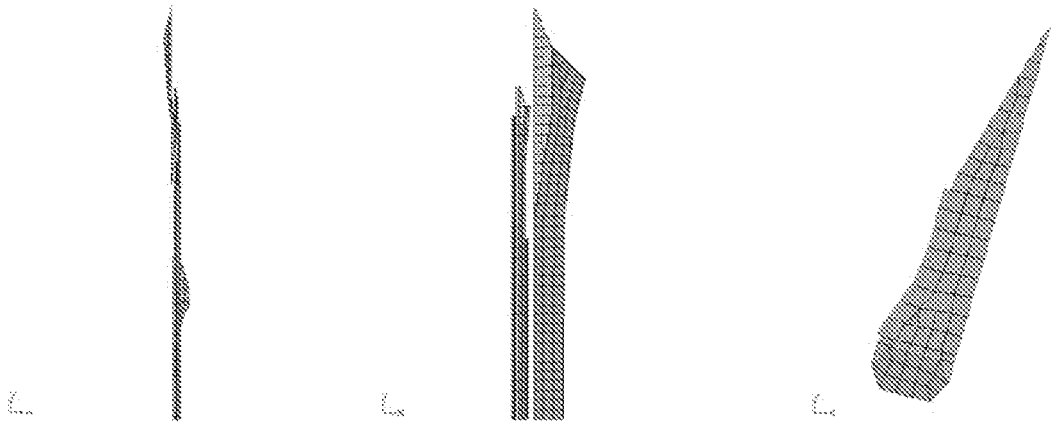
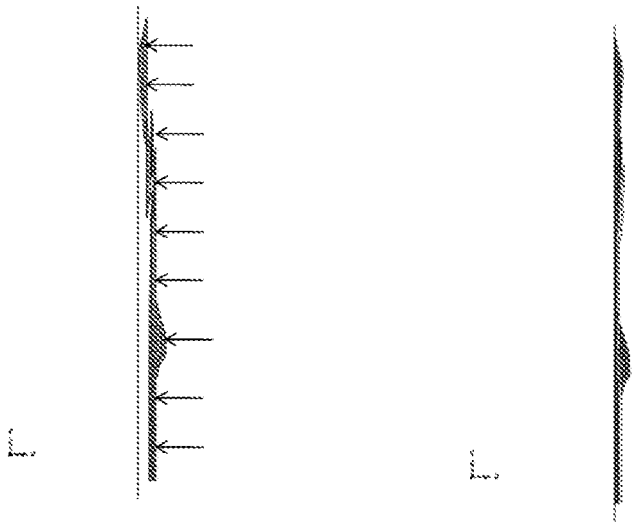


图 3



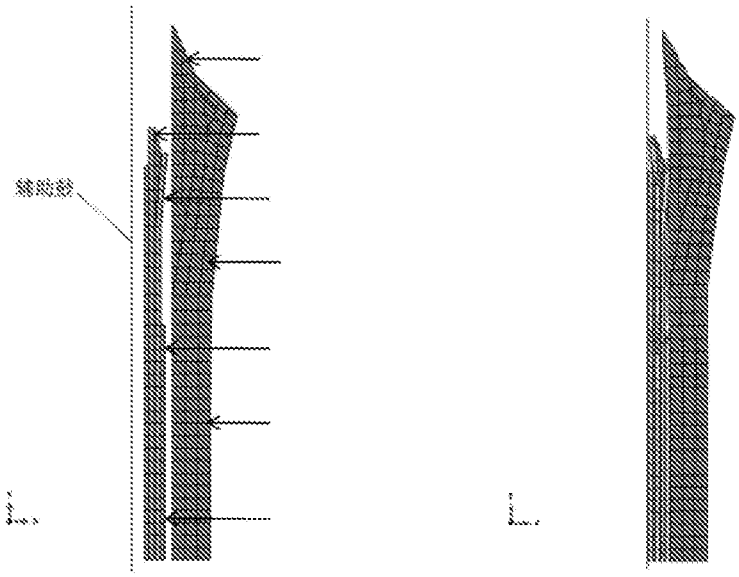
（a） （b） （c）

图 4



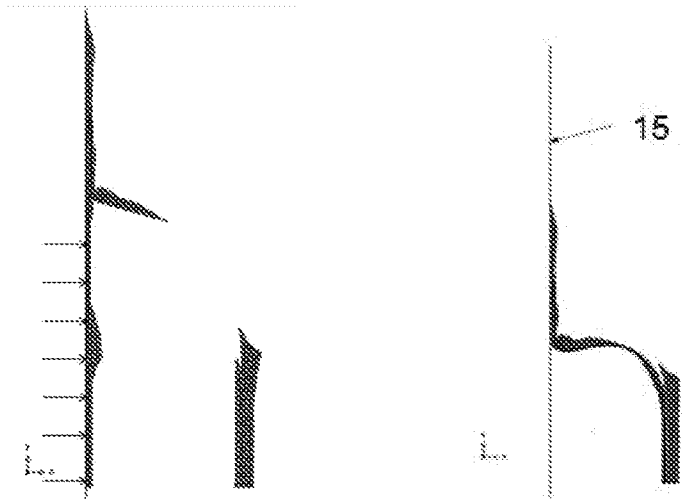
（a） （b）

图 5

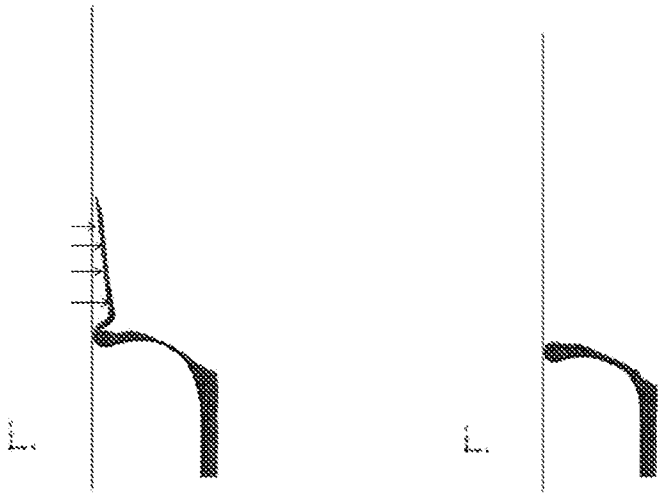


（a） （b）

图 6

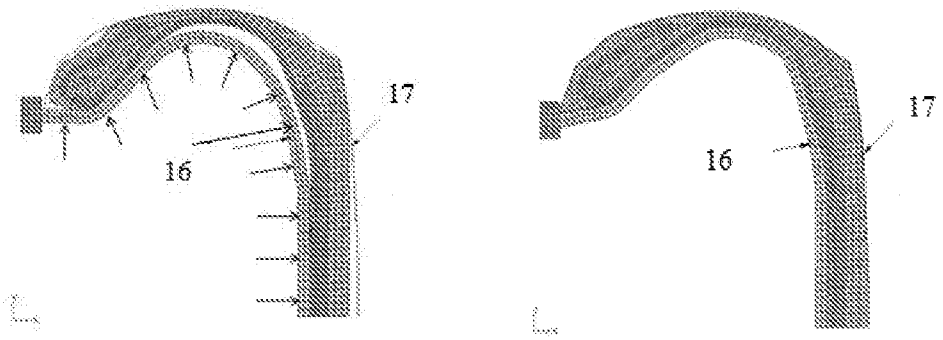


（a） （b）



（c） （d）

图 7



（a） （b）

图 8

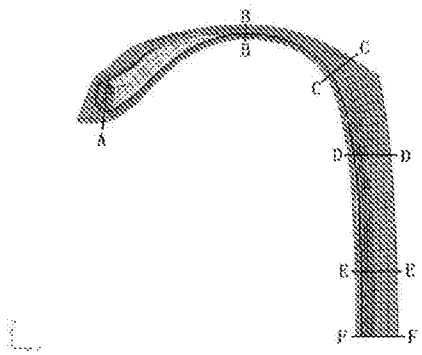


图 9

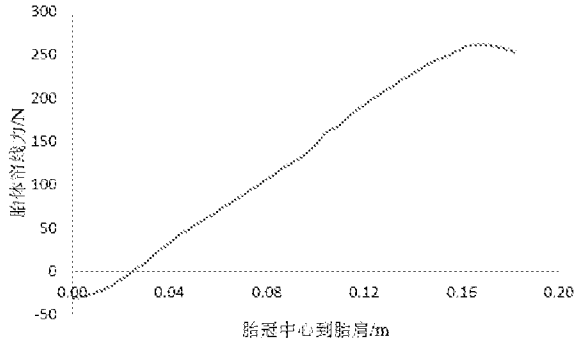


图 10

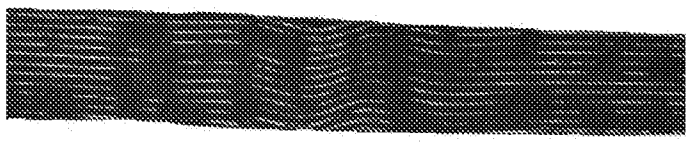


图 11

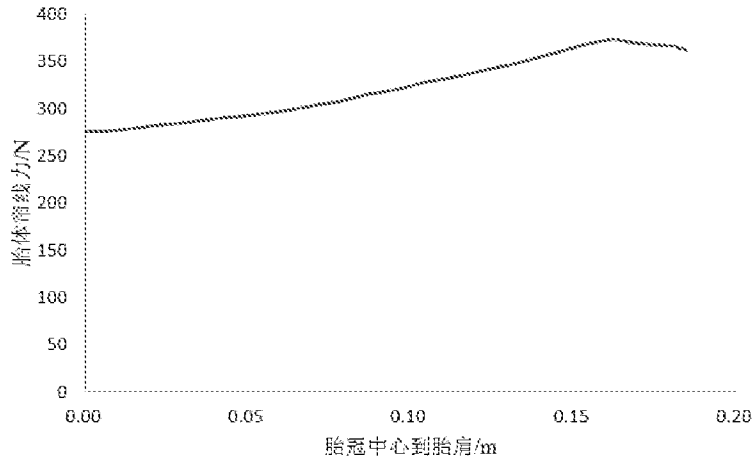


图 12

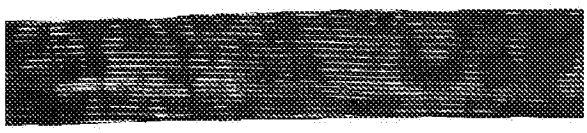


图 13

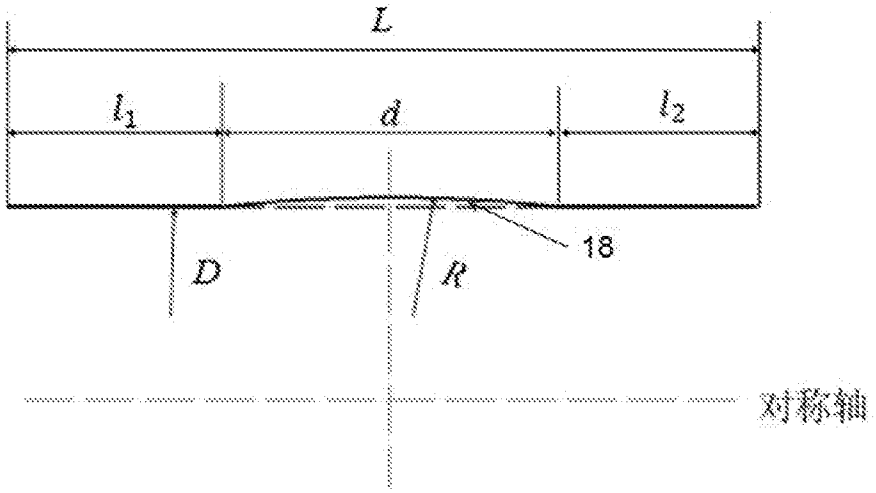

L
l_1
d
l_2
18
D
R
对称轴

图 14

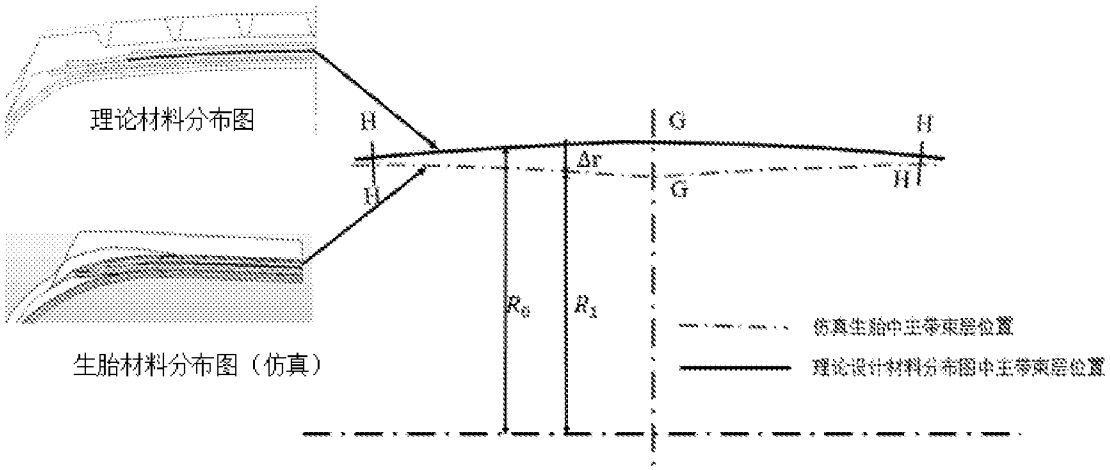

理论材料分布图
生胎材料分布图（仿真）
H
G
H
Δr
G
H
H
R_0
R_1
仿真生胎中主带束层位置
理论设计材料分布图中主带束层位置

图 15

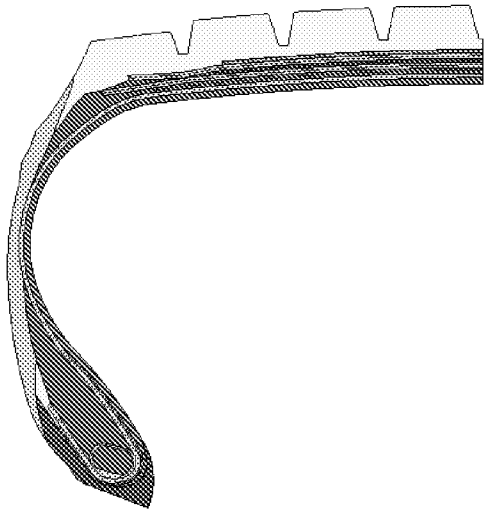
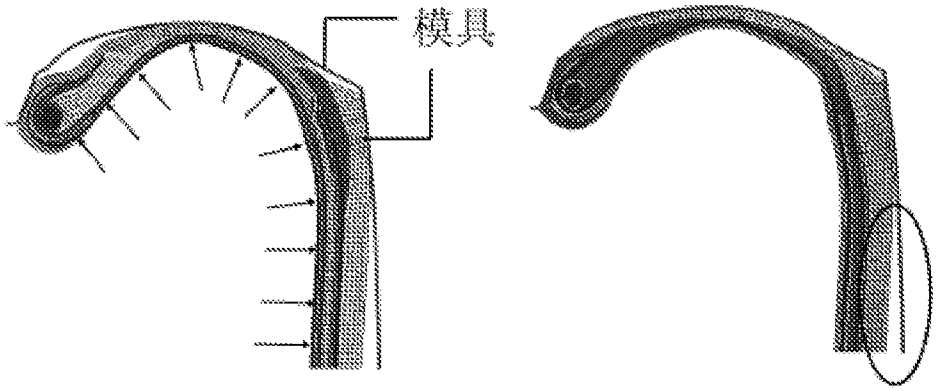


图 16



(a) (b)

图 17

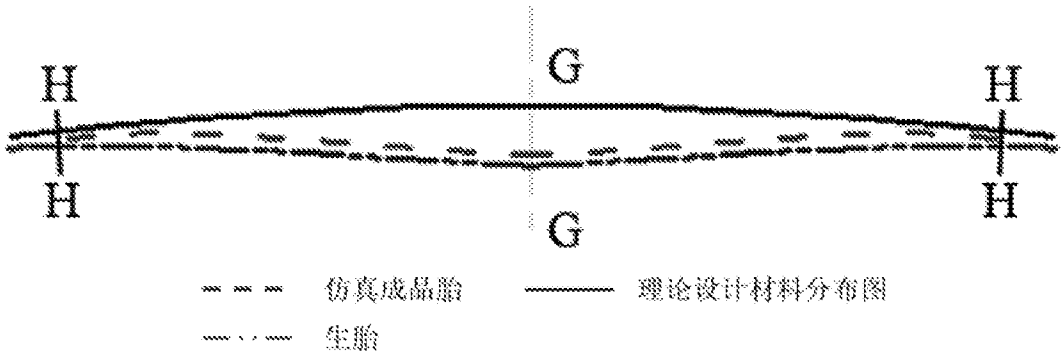
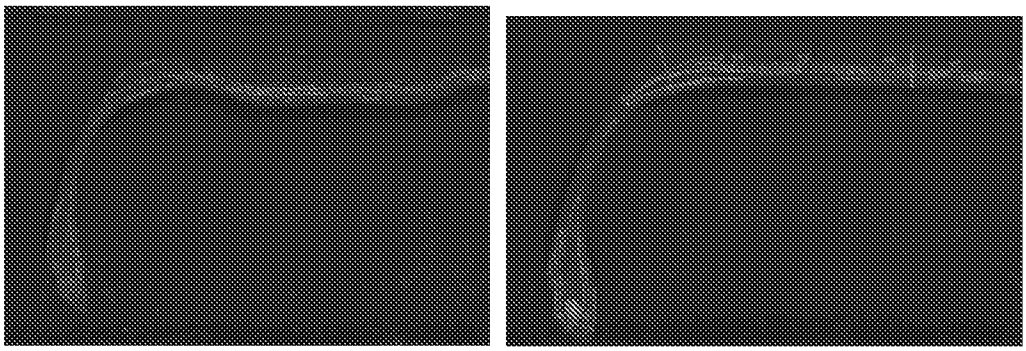


图 18



(a) (b)

图 19

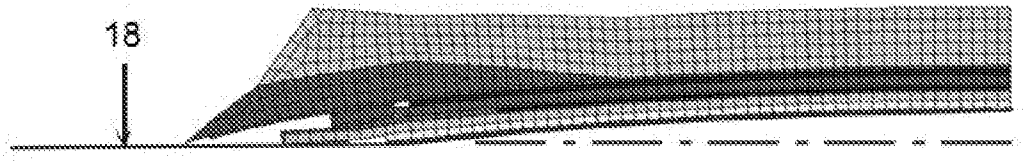
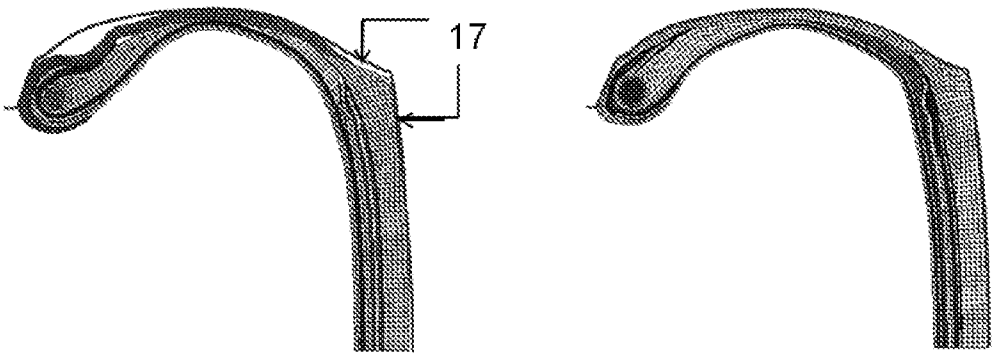


图 20



(a) 合模 (b) 机内定型

图 21

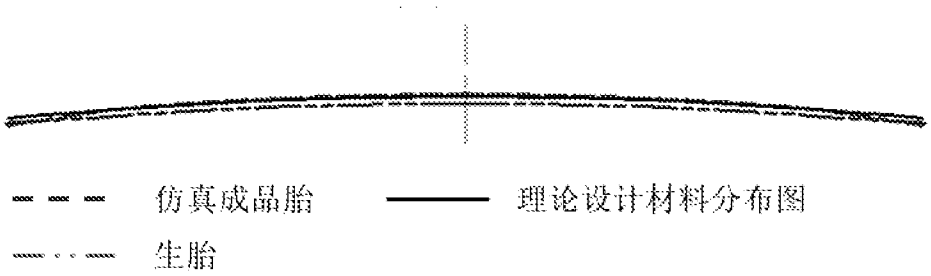


图 22

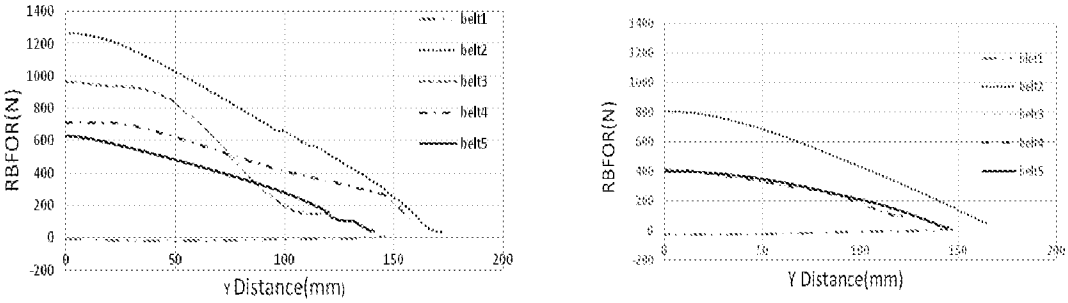

RBFOR(N)
Y Distance(mm)
belt1
belt2
belt3
belt4
belt5
(a)
(b)

图 23

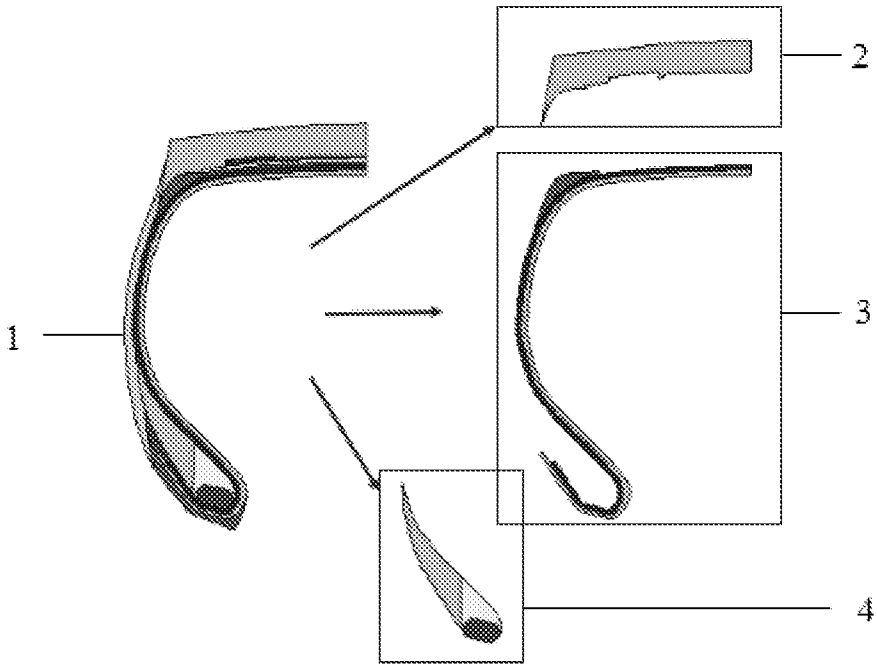

1
2
3
4

图 24

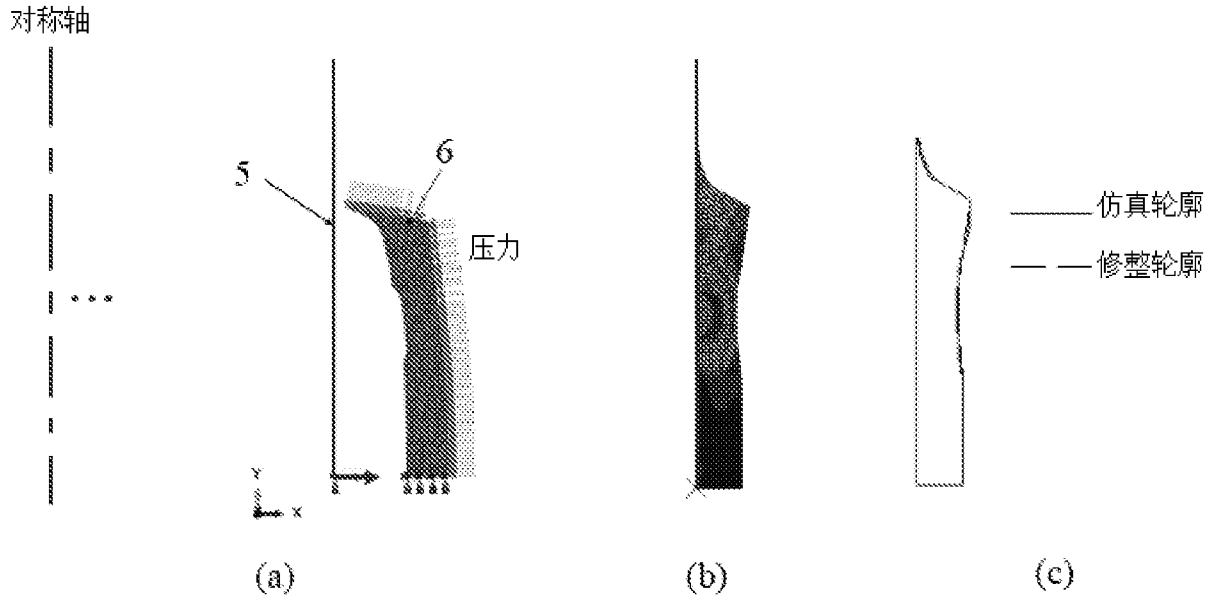

对称轴
5
6
压力
仿真轮廓
修整轮廓
(a)
(b)
(c)

图 25

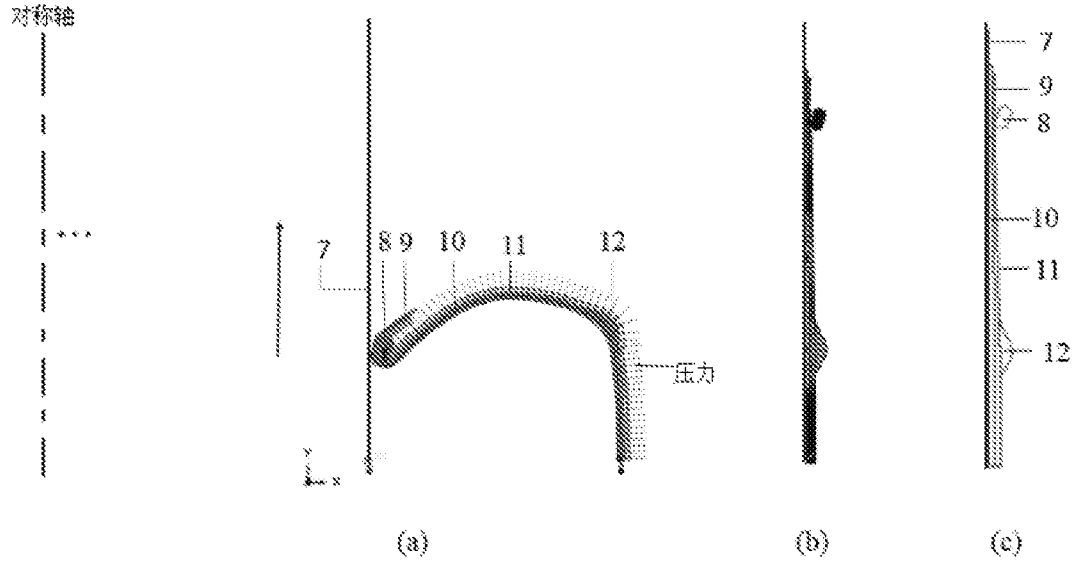


图 26

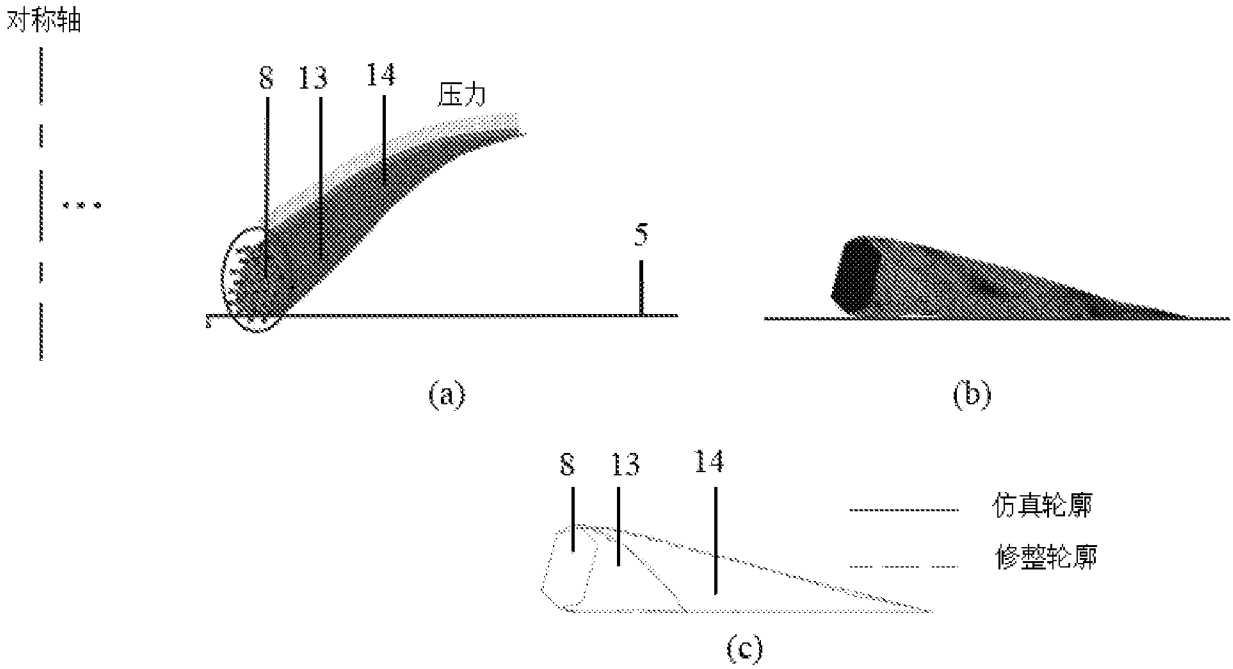
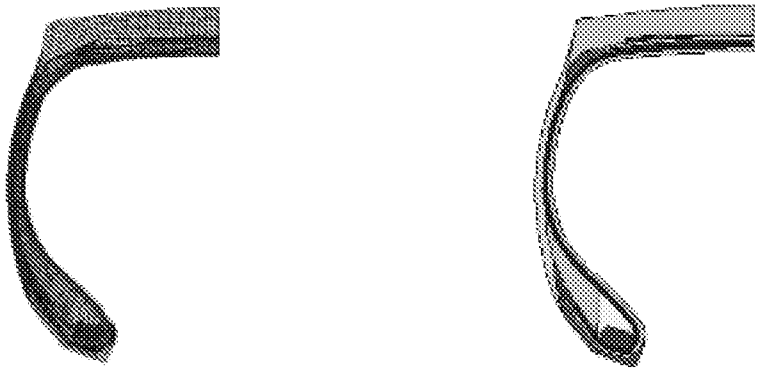


图 27



（a） (b)

图 28

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/098969

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/50 (2006.01) i; B60C 99/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F; B60C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: tyre, tire, semifinished, semi finished, green, simulat+, shape, raw tyre

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PY	CN 105205243 A (JIANGSU UNIVERSITY) 30 December 2015 (30.12.2015) description, paragraphs [0037]-[0046]	1-7
PY	CN 105718678 A (JIANGSU UNIVERSITY) 29 June 2016 (29.06.2016) description, paragraphs [0010]-[0067]	1-7
Y	LI, Zejin et al., AutoLISPyu3yan2 zai4 duo1pei4fang1 tai1mian4jiao1 ti3ji1 qiu2suan4 zhong1de ying4yong4, Tire Industry, vol. 19, no. 9, 30 September 1999 (30.09.1999), ISSN: 1006-8171, page 1, the first paragraph to page 3, the last paragraph	1-7
A	CN 101923589 A (JIANGSU UNIVERSITY) 22 December 2010 (22.12.2010) the whole document	1-12
A	JP 2005014301 A (YOKOHAMA RUBBER CO., LTD.) 20 January 2005 (20.01.2005) the whole document	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 November 2016	28 November 2016
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Ziwen Telephone No. (86-10) 62413190

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/098969

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013075634 A (SUMITOMO RUBBER IND. LTD.) 25 April 2013 (25.04.2013) the whole document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/098969

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105205243 A	30 December 2015	None	
CN 105718678 A	29 June 2016	None	
CN 101923589 A	22 December 2010	CN 101923589 B	16 November 2011
JP 2005014301 A	20 January 2005	None	
JP 2013075634 A	25 April 2013	JP 5841391 B2	13 January 2016

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/098969

A. 主题的分类

G06F 17/50(2006.01)i; B60C 99/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06F; , B60C

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT,CNKI,WPI,EPODOC：轮胎，半成品，生胎，仿真，模拟，形状，tyre，tire,semifinished，semi w finished，green，simulat+

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PY	CN 105205243 A (江苏大学) 2015年 12月 30日 (2015-12-30) 说明书第[0037]-[0046]段	1-7
PY	CN 105718678 A (江苏大学) 2016年 6月 29日 (2016-06-29) 说明书第[0010]-[0067]段	1-7
Y	李泽津 等. "AutoLISP语言在多配方胎面胶体积求算中的应用" 轮胎工业, 第19卷, 第9期, 1999年 9月 30日 (1999-09-30), ISSN：1006-8171, 第1页第1段至第3页最后一段	1-7
A	CN 101923589 A (江苏大学) 2010年 12月 22日 (2010-12-22) 全文	1-12
A	JP 2005014301 A (YOKOHAMA RUBBER CO., LTD.) 2005年 1月 20日 (2005-01-20) 全文	1-12
A	JP 2013075634 A (SUMITOMO RUBBER IND. LTD.) 2013年 4月 25日 (2013-04-25) 全文	1-12

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2016年 11月 17日	2016年 11月 28日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	李子文
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62413190

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/098969

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 105205243 A	2015年 12月 30日	无	
CN 105718678 A	2016年 6月 29日	无	
CN 101923589 A	2010年 12月 22日	CN 101923589 B	2011年 11月 16日
JP 2005014301 A	2005年 1月 20日	无	
JP 2013075634 A	2013年 4月 25日	JP 5841391 B2	2016年 1月 13日