

航空子午线轮胎几何参数化建模方法开发

石玉彪, 靳金鑫, 赵存伟, 左文杰*

(吉林大学 机械与航空航天工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 针对1270×455 R22航空子午线轮胎结构, 提出一种几何参数化的建模方法。该方法使用参数39个(描述轮胎几何信息的参数16个, 调整轮胎几何轮廓的参数23个), 通过建立截面外轮廓、钢丝圈、三角胶和胎体帘布层的轮廓, 带束层、增强层与胎面的轮廓和帘线设计, 可以精确建立航空子午线轮胎二维截面的几何模型。该方法可以加速轮胎结构的建模。

关键词: 航空子午线轮胎; 几何模型; 参数; 轮廓

中图分类号: TQ336.1; U463.341⁺.6

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2023)08-0451-07

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.08.0451



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

在轮胎的研发设计中, 数字化技术具有极其重要的作用, 贯穿了从轮胎设计到生产的整个开发周期^[1-4]。航空子午线轮胎结构复杂, 细节繁多, 需要花费大量时间建立几何模型。因此, 开发一种准确、高效的航空子午线轮胎的建模方法至关重要。

王泽鹏等^[5]使用AutoCAD的VBA语言编写接口程序, 使AutoCAD图纸信息可以传输到Ansys软件, 便于在Ansys中完成轮胎几何建模和网格划分。洪圣康^[6]实现了对轮胎二维CAD图的识别, 可以将CAD图中的节点坐标、线条信息、区域信息单独保存。以上研究均需要对轮胎的CAD图进行几何清理, 耗时较长。A. K. KONDE等^[7]使用X射线断层成像设备、激光全息设备等获取了轮胎的几何数据, 可以准确地描述轮胎横截面的周长以及帘布层线和帘线末端的位置, 由此得到轮胎的二维截面图像。吴长辉等^[8]对轮胎各部件自动化建模, 再装配建模部件, 从而实现轮胎的整体建模。哈斯巴根等^[9]将轮胎胎面、胎侧、帘线层、带束层等主要部件进行合理简化, 对轮胎断面曲线尺寸进行合理计算并重新绘制, 控制轮胎外形及其网格

精度对模型求解的影响, 建立了由一维梁单元、二维壳单元、三维实体单元组合的子午线轮胎有限元模型。张方亮等^[10]对CATIA进行二次开发, 提出了一种智能化轮胎3D花纹建模方案, 花纹模型由沟型花纹设计模块和沟间交汇连通模块组成。众多学者对轮胎建模的大量研究工作提高了轮胎的建模效率, 但如何对二维轮胎进行高效建模目前鲜有研究。

本工作针对1270×455 R22航空子午线轮胎提出一种几何参数化建模方法。该方法首先根据轮胎的几何位置信息建立其二维轴对称模型, 然后将二维模型绕对称轴旋转1周, 即可得到轮胎的三维几何模型。

1 轮胎参数化几何模型的建立

轮胎部件包括气密层、胎体帘布层、带束层、增强层、胎侧、胎面、钢丝圈、三角胶和胎踵, 其二维截面如图1所示。

本工作选取16个参数(见表1)表征轮胎的几何位置, 以建立其二维轴对称模型。

2 轮胎截面外轮廓的建立

2.1 轮胎截面上部轮廓

2.1.1 轮胎截面上部外侧轮廓

以轮胎中心为原点, Y 轴为对称轴建立平面直角坐标系。确定轮胎截面(以半截面代表, 下同)上部外侧轮廓各点的坐标, 所需参数有 R , W 和 R_r 。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFA0713604)

作者简介: 石玉彪(1999—), 男, 安徽芜湖人, 吉林大学在读硕士研究生, 主要从事航空轮胎结构设计研究。

*通信联系人(zuowenjie@jlu.edu.cn): 左文杰(1981—), 男, 山西忻州人, 吉林大学教授, 博士, 主要从事航空轮胎自主工业软件开发。

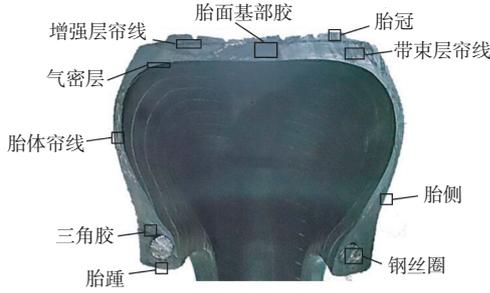


图1 轮胎二维截面示意

表1 参数索引

参数	含义	参数	含义
R	轮胎最大直径	T_b	带束层厚度
W	轮胎截面最大宽度	T_i	气密层厚度
R_r	轮缘直径	T_s	胎侧厚度
W_r	轮辋与截面宽度之比	T_{hh}	胎踵横向厚度
T_t	胎面厚度	T_{hv}	胎踵纵向厚度
T_p	增强层厚度	A_t	胎圈锥度
T_c	胎体帘布层厚度	R_b	钢丝圈直径
D_{ah}	三角胶顶点与钢丝圈圆心的横向距离	D_{av}	三角胶顶点与钢丝圈圆心的纵向距离

下文 P_i 表示第 i 个点, H_i 表示第 i 个点的横坐标, V_i 表示第 i 个点的纵坐标, C_i 为调整轮胎几何轮廓的可变系数, i 为自然数。

轮胎截面上部外侧轮廓由2段圆弧构成,其中, P_1, P_4 和 P_3 构成第1段圆弧, P_3, P_5 和 P_2 构成第2段圆弧,如图2所示。确定 P_1-P_5 的坐标即可确定轮胎截面上部外侧轮廓,方法如下。

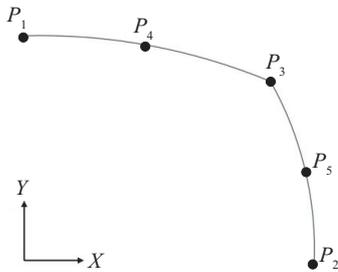


图2 轮胎截面上部外侧轮廓

从图2可以看出, H_1 与 V_1 的计算式为

$$H_1 = 0 \quad V_1 = \frac{R}{2} \quad (1)$$

H_2 与 V_2 的计算式为

$$H_2 = \frac{W}{2} \quad V_2 = \frac{R + R_r}{4} \quad (2)$$

H_3 与 V_3 的计算式为

$$H_3 = \frac{1}{2} C_1 W \quad V_3 = \frac{1}{2} C_2 (R - R_r) \quad (3)$$

H_4 与 V_4 的计算式为

$$\begin{cases} H_4 = \frac{1}{2} C_1 C_3 W \\ V_4 = \frac{1}{2} R_r + [C_4(1 - C_2) + C_2] \frac{(R - R_r)}{2} \end{cases} \quad (4)$$

H_5 与 V_5 的计算式为

$$\begin{cases} H_5 = \frac{1}{2} [C_5(1 - C_1) + 1] W \\ V_5 = C_6 \left[(2C_2 - 1) \frac{R - R_r}{4} + \frac{R + R_r}{4} \right] \end{cases} \quad (5)$$

通过改变相应系数的大小可调整 P_3-P_5 的位置。

2.1.2 轮胎截面上部内侧轮廓

由于轮胎为铺层结构,各组件之间无间隙贴合在一起,因此轮胎截面上部内侧轮廓点的坐标可由其外侧轮廓点坐标依据其几何位置计算得到,需要确定的组件厚度分别有 T_t, T_p, T_b, T_c, T_i 和 T_s 。轮胎截面上部内侧轮廓由2段圆弧构成,其中, P_6, P_9 和 P_8 构成第1段圆弧, P_8, P_{10} 和 P_7 构成第2段圆弧,如图3所示。确定 P_6-P_{10} 的坐标即可确定轮胎截面上部内侧轮廓,方法如下。

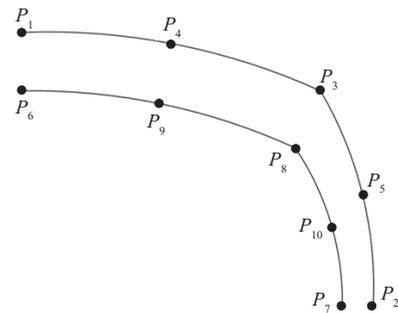


图3 轮胎截面上部内外侧轮廓

令 T_v 为 T_t, T_p, T_b, T_c, T_i 的和。 T_h 为轮胎侧壁厚度, T_v 与 T_h 的计算式为

$$\begin{cases} T_v = T_t + T_p + T_b + T_c + T_i \\ T_h = T_t + C_7 T_c + T_s \end{cases} \quad (6)$$

其中, C_7 与 T_s 共同控制 T_h 。

H_6 与 V_6 的计算式为

$$H_6 = 0 \quad V_6 = \frac{R}{2} - T_v \quad (7)$$

H_7 与 V_7 的计算式为

$$\begin{cases} H_7 = \frac{W}{2} - T_h \\ V_7 = \frac{R + R_r}{4} \end{cases} \quad (8)$$

令 M_1 为 V_6 与 V_7 的差值, 则:

$$M_1 = \frac{R - R_r}{4} - T_v \quad (9)$$

H_8 与 V_8 的计算式为

$$\begin{cases} H_8 = C_8 \left(\frac{W}{2} - T_h \right) \\ V_8 = \frac{R + R_r}{4} + C_9 M_1 \end{cases} \quad (10)$$

令 M_2 为 V_6 与 V_8 的差值, 则:

$$M_2 = (2 - C_2) \frac{R - R_r}{4} - (1 - C_2) T_v \quad (11)$$

H_9 与 V_9 的计算式为

$$\begin{cases} H_9 = C_1 C_3 \left(\frac{W}{2} - T_h \right) \\ V_9 = C_4 M_2 + \frac{R + R_r}{4} + C_2 M_1 \end{cases} \quad (12)$$

令 M_3 为 H_7 与 H_8 的差值, M_4 为 V_7 与 V_8 的差值, 则:

$$\begin{cases} M_3 = (1 - C_8) \left(\frac{W}{2} - T_h \right) \\ M_4 = C_9 M_1 \end{cases} \quad (13)$$

H_{10} 与 V_{10} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{10} = \frac{W}{2} - T_h - C_{10} M_3 \\ V_{10} = \frac{R + R_r}{4} + C_{11} M_4 \end{cases} \quad (14)$$

2.2 胎踵轮廓

胎踵轮廓由 $P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}$ 组成的半封闭轮廓构成, 如图 4 所示。确定 $P_{11} - P_{14}$ 的坐标即可确定轮胎胎踵轮廓, 所需参数分别为: $W_r, A_t, W, R_r, T_{hh}, T_{hv}, R_b, T_c$ 和 T_i , 方法如下。

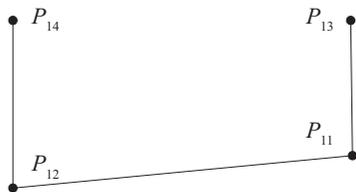


图 4 胎踵轮廓

H_{11} 与 V_{11} 的计算式为

$$H_{11} = \frac{WW_r}{2} \quad V_{11} = \frac{R_r}{2} \quad (15)$$

令 M_5 为 H_{11} 与 H_{12} 的差值, M_6 为 V_{11} 与 V_{12} 的差值, 则:

$$\begin{cases} M_5 = \frac{WW_r}{2} - 2T_c - T_{hh} - R_b - T_i \\ M_6 = M_5 \tan A_t \end{cases} \quad (16)$$

H_{12} 与 V_{12} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{12} = \frac{WW_r}{2} - M_5 \\ V_{12} = \frac{R_r}{2} - M_6 \end{cases} \quad (17)$$

令 M_7 为 V_{13} 与 V_{11} 的差值, 则

$$M_7 = \frac{R_b}{2} + T_c + T_{hv} \quad (18)$$

H_{13} 与 H_{11} 相同, 则 H_{13} 与 V_{13} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{13} = \frac{WW_r}{2} \\ V_{13} = \frac{R_r}{2} + M_7 \end{cases} \quad (19)$$

H_{14} 与 H_{12} 相同, V_{14} 与 V_{13} 相同, 则:

$$\begin{cases} H_{14} = \frac{WW_r}{2} - M_5 \\ V_{14} = \frac{R_r}{2} + M_7 \end{cases} \quad (20)$$

2.3 钢丝圈与三角胶区域轮廓

钢丝圈圆心 (P_{15}) 与三角胶顶点 (P_{16}) 及对应区域的轮胎外轮廓如图 5 所示, 其外轮廓由 P_{17}, P_{21}, P_{19} 构成的圆弧, P_{19}, P_{20}, P_{14} 构成的圆弧和 P_{18}, P_{22}, P_{13} 构成的圆弧组成, 所需参数分别为 D_{ah}, D_{av}, T_c, T_i 和 T_{hh} 。

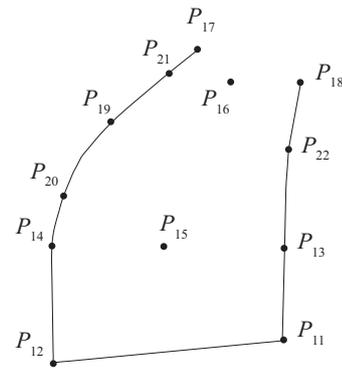


图 5 钢丝圈与三角胶区域轮廓

令 M_8 为 H_{15} 与 H_{13} 的差值, 则:

$$M_8 = \frac{R_b}{2} + T_c + T_{hh} \quad (21)$$

V_{15} 与 V_{13} 相同, 则 H_{15} 与 V_{15} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{15} = \frac{WW_r}{2} - M_8 + D_{ah} \\ V_{15} = \frac{R_r}{2} + M_7 \end{cases} \quad (22)$$

轮胎的三角胶与钢丝圈贴合在一起, 因此 P_{16} 可由 H_{15}, V_{15} 与 D_{ah}, D_{av} 确定, H_{16} 与 V_{16} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{16} = \frac{WW_r}{2} - M_8 + D_{ah} \\ V_{16} = \frac{R_r}{2} + M_7 + D_{av} \end{cases} \quad (23)$$

$$\text{令 } M_9 = T_c + T_i \quad (24)$$

H_{17} 与 V_{17} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{17} = \frac{WW_r}{2} - M_8 + D_{ah} - M_9 \\ V_{17} = \frac{R_r}{2} + M_7 + D_{av} + M_9 \end{cases} \quad (25)$$

$$\text{令 } M_{10} = T_c + T_{hh} \quad (26)$$

则 H_{18} 与 V_{18} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{18} = \frac{WW_r}{2} - M_8 + D_{ah} + M_{10} \\ V_{18} = \frac{R_r}{2} + M_7 + D_{av} \end{cases} \quad (27)$$

令 M_{11} 为 H_{14} 与 H_{17} 的差值, M_{12} 为 V_{14} 与 V_{17} 的差值,则:

$$\begin{cases} M_{11} = D_{ah} - M_8 - M_9 + M_5 \\ M_{12} = D_{av} + M_9 \end{cases} \quad (28)$$

H_{19} 与 V_{19} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{19} = \frac{WW_r}{2} - M_5 + C_{12}M_{11} \\ V_{19} = \frac{R_r}{2} + M_7 + C_{13}M_{12} \end{cases} \quad (29)$$

从式(29)可以看出,改变 C_{12} 和 C_{13} 可调整 P_{19} 的位置。

令 M_{13} 为 H_{14} 与 H_{19} 的差值, M_{14} 为 V_{14} 与 V_{19} 的差值,则:

$$\begin{cases} M_{13} = C_{12}M_{11} \\ M_{14} = C_{13}M_{12} \end{cases} \quad (30)$$

H_{20} 与 V_{20} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{20} = \frac{WW_r}{2} - M_5 + C_{14}M_{13} \\ V_{20} = \frac{R_r}{2} + M_7 + C_{15}M_{14} \end{cases} \quad (31)$$

从式(31)可以看出,改变 C_{14} 和 C_{15} 可调整 P_{20} 的位置。

令 M_{15} 为 H_{17} 与 H_{19} 的差值, M_{16} 为 V_{17} 与 V_{19} 的差值,则:

$$\begin{cases} M_{15} = D_{ah} + M_5 - M_8 - M_9 - C_{12}M_{11} \\ M_{16} = D_{av} + M_9 - C_{13}M_{12} \end{cases} \quad (32)$$

H_{21} 与 V_{21} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{21} = \frac{WW_r}{2} - M_5 + C_{12}M_{11} + C_{16}M_{15} \\ V_{21} = \frac{R_r}{2} + M_7 + C_{13}M_{12} + C_{17}M_{16} \end{cases} \quad (33)$$

从式(33)可以看出,改变 C_{16} 和 C_{17} 可调整 P_{21} 的位置。

令 M_{17} 为 H_{13} 与 H_{18} 的差值, M_{18} 为 V_{13} 与 V_{18} 的差值,则:

$$\begin{cases} M_{17} = D_{ah} + M_{10} - M_8 \\ M_{18} = D_{av} + M_{10} \end{cases} \quad (34)$$

H_{22} 与 V_{22} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{22} = \frac{WW_r}{2} + C_{18}M_{17} \\ V_{22} = \frac{R_r}{2} + M_7 + C_{19}M_{18} \end{cases} \quad (35)$$

从式(35)可以看出,改变 C_{18} 和 C_{19} 可调整 P_{22} 的位置。

2.4 轮胎截面下部轮廓

轮胎截面下部轮廓由2段圆弧构成,其中, P_2 , P_{23} , P_{18} 点构成第1段圆弧, P_7 , P_{24} , P_{17} 点构成第2段圆弧,如图6所示。确定6个点坐标即可确定轮胎截面下部轮廓,方法如下。

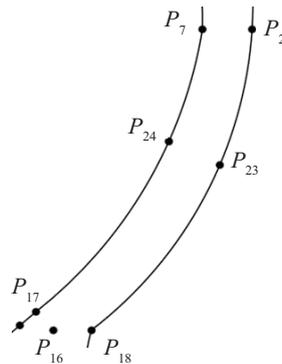


图6 轮胎截面下部轮廓

令 M_{19} 为 H_2 与 H_{18} 的差值, M_{20} 为 V_2 与 V_{18} 的差值,则:

$$\begin{cases} M_{19} = \frac{W}{2} - \frac{WW_r}{2} + M_8 - D_{ah} - M_{10} \\ M_{20} = \frac{R - R_r}{4} - M_7 - D_{av} - M_{10} \end{cases} \quad (36)$$

H_{23} 与 V_{23} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{23} = \frac{W}{2} - C_{20}M_{19} \\ V_{23} = \frac{R + R_r}{4} - C_{21}M_{20} \end{cases} \quad (37)$$

从式(37)可以看出,改变 C_{20} 和 C_{21} 可调整 P_{23} 的

位置。

令 M_{21} 为 H_7 与 H_{17} 的差值, M_{22} 为 V_7 与 V_{17} 的差值, 则:

$$\begin{cases} M_{21} = \frac{W}{2} - T_h - \frac{WW_r}{2} + M_8 - D_{ah} + M_9 \\ M_{22} = \frac{R - R_r}{4} - M_7 - D_{av} - M_9 \end{cases} \quad (38)$$

H_{24} 与 V_{24} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{24} = \frac{WW_r}{2} - M_8 + D_{ah} - M_9 + C_{22}M_{21} \\ V_{24} = \frac{R_r}{2} + M_7 + D_{av} + M_9 + C_{23}M_{22} \end{cases} \quad (39)$$

从式 (39) 可以看出, 改变 C_{22} 和 C_{23} 可调整 P_{24} 的位置。

综上所述, 由 24 个特殊点的坐标可以建立对应的圆弧, 使圆弧首尾相连即可确定轮胎的外轮廓。

3 钢丝圈、三角胶和胎体帘布层的轮廓

由 P_{15} 坐标与 R_b 可确定钢丝圈的轮廓, 由 P_{16} 向钢丝圈引出两条切线即可确定三角胶的轮廓, 如图 7 所示。

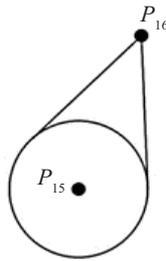


图 7 钢丝圈与三角胶的轮廓

胎体帘布层轮廓如图 8 所示。其中 P_{34} 与 P_{14} 以直线连接, P_{34} 与 P_{33} 以圆弧连接, 该圆弧与钢丝圈的圆心相同 (为 P_{15})。

H_{25} 与 V_{25} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{25} = 0 \\ V_{25} = \frac{R}{2} - T_v + T_i + T_c \end{cases} \quad (40)$$

从图 8 可以看出, H_{26} 与 H_9 相同, 则 H_{26} 与 V_{26} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{26} = C_1 C_3 \left(\frac{W}{2} - T_h \right) \\ V_{26} = C_4 M_2 + \frac{R + R_r}{4} + C_2 M_1 + T_i + T_c \end{cases} \quad (41)$$

H_{27} 与 V_{27} 的计算式为

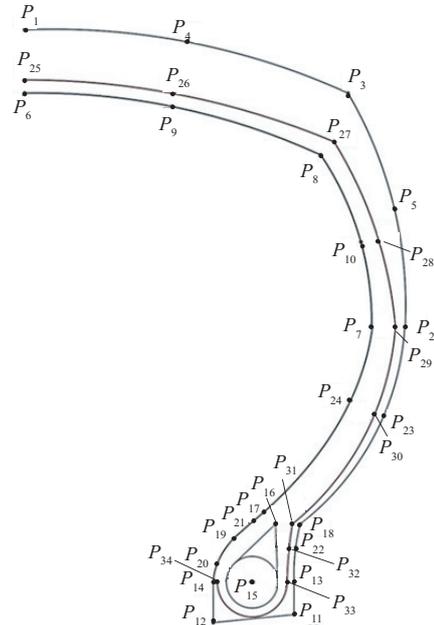


图 8 胎体帘布层轮廓

$$\begin{cases} H_{27} = C_8 \left(\frac{W}{2} - T_h \right) + T_i + T_c \\ V_{27} = \frac{R + R_r}{4} + C_9 M_1 + T_i + T_c \end{cases} \quad (42)$$

H_{28} 与 V_{28} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{28} = \frac{W}{2} - T_h - C_{10} M_3 + T_i + 1.5 T_c \\ V_{28} = \frac{R + R_r}{4} + C_{11} M_4 \end{cases} \quad (43)$$

H_{29} 与 V_{29} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{29} = \frac{W}{2} - T_h + T_i + 2 T_c \\ V_{29} = \frac{R + R_r}{4} \end{cases} \quad (44)$$

H_{30} 与 V_{30} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{30} = \frac{WW_r}{2} - M_8 + D_{ah} - M_9 + \\ \quad C_{22} M_{21} + T_i + 2 T_c \\ V_{30} = \frac{R + R_r}{4} - C_{21} M_{20} \end{cases} \quad (45)$$

H_{31} 与 V_{31} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{31} = \frac{WW_r}{2} - M_8 + D_{ah} + M_{10} - T_{hh} \\ V_{31} = \frac{R_r}{2} + M_7 + D_{av} + M_{10} \end{cases} \quad (46)$$

H_{32} 与 V_{32} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{32} = \frac{WW_r}{2} + C_{18}M_{17} - T_{hh} \\ V_{32} = \frac{R_r}{2} + M_7 + C_{19}M_{18} \end{cases} \quad (47)$$

H_{33} 与 V_{33} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{33} = \frac{WW_r}{2} - T_{hh} \\ V_{33} = \frac{R_r}{2} + M_7 \end{cases} \quad (48)$$

H_{34} 与 V_{34} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{34} = \frac{WW_r}{2} - M_5 + T_i \\ V_{34} = \frac{R_r}{2} + M_7 \end{cases} \quad (49)$$

4 带束层、增强层与胎面的轮廓

4.1 带束层

带束层的轮廓由2段圆弧构成,其中, P_{25}, P_{26}, P_{27} 点构成第1段圆弧, P_{35}, P_{36}, P_{37} 点构成第2段圆弧,如图9所示,其中, P_{27} 与 P_{37} 以直线相连。确定6个点坐标即可确定轮胎带束层的轮廓,方法如下。

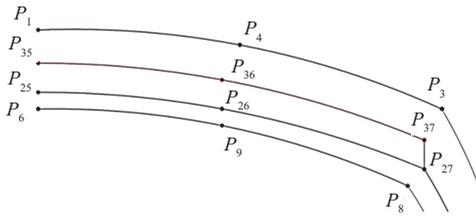


图9 带束层的轮廓

$$\text{令} \quad T_{z1} = T_i + T_c + T_b \quad (50)$$

H_{35} 与 V_{35} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{35} = 0 \\ V_{35} = \frac{R}{2} - T_v + T_{z1} \end{cases} \quad (51)$$

H_{36} 与 V_{36} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{36} = C_1 C_3 \left(\frac{W}{2} - T_h \right) \\ V_{36} = C_4 M_2 + \frac{R + R_r}{4} + C_2 M_1 + T_{z1} \end{cases} \quad (52)$$

H_{37} 与 V_{37} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{37} = C_8 \left(\frac{W}{2} - T_h \right) + T_i + T_c \\ V_{37} = \frac{R + R_r}{4} + C_9 M_1 + T_{z1} \end{cases} \quad (53)$$

4.2 增强层与胎面

增强层的轮廓由2段圆弧构成,其中, $P_{35},$

P_{36}, P_{37} 点构成第1段圆弧, P_{38}, P_{39}, P_{40} 点构成第2段圆弧,如图10所示,其中, P_{37} 和 P_{40} 以直线相连。确定6个点坐标即可确定增强层与胎面的轮廓,方法如下。

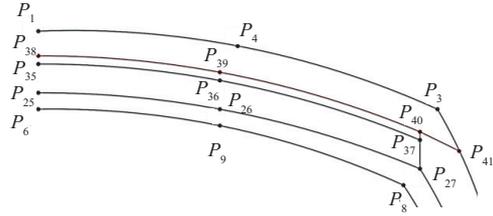


图10 增强层与胎面的轮廓

$$\text{令} \quad T_{z2} = T_i + T_c + T_b + T_p \quad (54)$$

H_{38} 与 V_{38} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{38} = 0 \\ V_{38} = \frac{R}{2} - T_v + T_{z2} \end{cases} \quad (55)$$

H_{39} 与 V_{39} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{39} = C_1 C_3 \left(\frac{W}{2} - T_h \right) \\ V_{39} = C_4 M_2 + \frac{R + R_r}{4} + C_2 M_1 + T_{z2} \end{cases} \quad (56)$$

H_{40} 与 V_{40} 的计算式为

$$\begin{cases} H_{40} = C_8 \left(\frac{W}{2} - T_h \right) + T_i + T_c \\ V_{40} = \frac{R + R_r}{4} + C_9 M_1 + T_{z2} \end{cases} \quad (57)$$

由 P_3, P_5, P_2 构成的圆弧与 P_{38}, P_{39}, P_{40} 构成的圆弧的交点为 P_{41} , P_{40} 与 P_{41} 构成分割线将胎面与胎侧区分为两个区域。

5 帘线设计

轮胎的帘线通常分为胎体帘线、带束层帘线与增强层帘线,分别位于胎体帘布层、带束层与增强层。由于轮胎帘布是多层贴合在一起的,即帘线应等距分布于所属区域,依据该特点可分别在胎体帘布层、带束层与增强层建立表示帘线的几何模型。帘线在轮胎中的位置如图11所示,从上至下依次对应增强层帘线、带束层帘线与胎体帘线。由39个参数建立的轮胎截面如图12所示。

本工作开发了SuperTire软件(界面见图13),采用GDI绘图引擎,使用上述方法,实现了轮胎几何参数化的绘图建模。SuperTire软件分为前处理

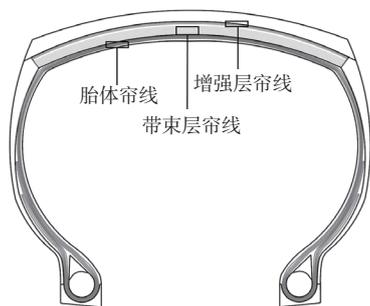


图 11 帘线在轮胎截面中的位置

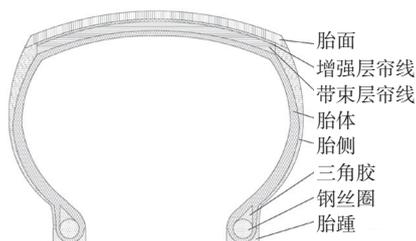


图 12 轮胎几何截面

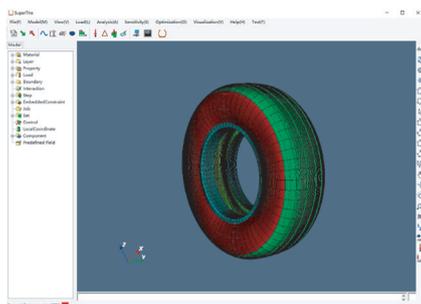


图 13 自主开发的航空轮胎设计工业软件SuperTire界面模块和后处理模块,可以计算含有帘线的轮胎的充气分析、接地印痕分析、温度场分析以及接触分析等。

6 结语

本工作针对轮胎结构提出一种几何参数化的建模方法。该方法使用参数39个(描述轮胎几何信息的参数16个,调整轮胎几何轮廓的参数23个),通过建立轮胎截面外轮廓,钢丝圈、三角胶和胎体帘布层的轮廓,带束层、增强层与胎面的轮廓和帘线设计,可以精确建立航空子午线轮胎二维截面的几何模型,从而加速轮胎结构建模。

参考文献:

- [1] 佟伟. 子午线航空轮胎技术研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2021.
- [2] 周海超,李慧云,夏琦,等. 辐条式免充气轮胎的减振分析[J]. 橡胶工业,2022,69(2):91-96.
- [3] 吴桂忠. 高性能子午线轮胎研发、生产和试验研究概况及发展趋势[J]. 中国橡胶,2022,38(2):17-26.
- [4] 王伟斌. 子午线轮胎胎圈疲劳寿命预测及结构优化[D]. 镇江:江苏大学,2021.
- [5] 王泽鹏,高峰,粟定华,等. 斜交轮胎三维有限元建模方法[J]. 轮胎工业,2007,27(7):394-398.
- [6] 洪圣康. 轮胎有限元分析自动化建模与处理系统[D]. 镇江:江苏大学,2019.
- [7] KONDE A K, ROSU I, LEBON F, et al. On the modeling of aircraft tire[J]. Aerospace Science and Technology, 2013, 27(1):67-75.
- [8] 吴长辉,李红卫,田健,等. 基于参数化设计的轮胎自动化建模研究[J]. 橡胶科技,2019,17(4):202-205.
- [9] 哈斯巴根,朱凌,石琴,等. 轮胎有限元建模过程优化及刚度特性仿真研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2015,38(7):944-948.
- [10] 张方亮,董玉德,刘彦超,等. 基于CATIA的轮胎花纹建模工具的开发[J]. 轮胎工业,2018,38(11):651-654.

收稿日期:2023-03-02

Development of Geometrical Parametric Modeling Method for Aircraft Radial Tire

SHI Yubiao, JIN Jinxin, ZHAO Cunwei, ZUO Wenjie
(Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: A geometric parametric modeling method for the structure of 1270×455 R22 aircraft radial tire was proposed. This method used 39 parameters in which 16 parameters were applied to describe the general geometric information of the tire and the other 23 parameters were for the detailed description of the contour profile of the tire. The results showed that an accurate two-dimensional geometric model of the section of the aircraft radial tire was successfully obtained by establishing the contour profile of the outer section, constructing the contour profiles of various parts such as the bead, apex, carcass cord, belt layer, reinforcement layer, and tread, and refining the cord design. This method could be applied to accelerate the modeling of tire structure.

Key words: aircraft radial tire; geometrical model; parameter; contour