

230×80-100 小型航空轮胎设计

高利辉, 王立业, 郑志超, 李强, 沈波

(陕西延长石油西北橡胶有限责任公司, 陕西 咸阳 712000)

摘要: 本文介绍了 230×80-100 小型航空轮胎的设计和有限元分析情况。结构设计: 外直径 206 mm, 断面宽 75 mm, 着合直径 98.6 mm, 着合宽度 62 mm, 水平轴位置 1.265 8, 弧沟式花纹深度 4 mm, 轮胎下沉量测算为 30.3%。施工设计: 胎体骨架材料选用 1400dtex/2 尼龙帘线, 帘线安全倍数 16.9 倍, 钢圈选用 $\Phi 0.96$ HT 镀锡青铜钢丝作为骨架材料, 单钢圈设计, 钢圈安全倍数 26.2 倍, 成型方式 2, 2, 采用不可折叠的半芯轮式成型鼓, 硫化采用胶囊定型硫化机, 胶囊型号 B3004。有限元设计分析: 充气外直径 229 mm, 充气断面宽 73 mm, 帘线安全倍数 16.6 倍, 钢圈安全倍数 16.0 倍, 额定气压、负荷下轮胎下沉量 30.6%。成品结果表明, 轮胎各项性能满足设计和客户要求。

关键词: 航空轮胎; 结构设计; 施工设计; 有限元分析

引用论文: 高利辉, 王立业, 郑志超, 等. 230×80-100 小型航空轮胎设计 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(8):41-46.

中图分类号: TQ336.1

文章编号: 1009-797X(2026)08-0041-06

文献标识码: B

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.08.009

随着航空工业的发展, 无人机无论是在民用还是军用领域的应用越来越广泛, 而轮胎作为无人机的关键部件之一, 其品质直接影响到无人机的整体性能和安全性, 一般无人机轮胎选用小型航空轮胎, 230×80-100 为某型无人机前轮胎, 主要用于支撑飞机、承受飞机起飞、着陆、滑行载荷, 减缓地面对飞机的冲击与振动。公司为适应市场需求, 实现有人和无人飞机轮胎双重发展, 完善现有航胎生产线, 确定开发某型无人机前轮胎。

1 技术要求

230×80-100 航空轮胎主要技术参数: 单胎重量 2.0 kg; 正常载荷 2.3 kN; 充气压力 650_0^{+50} kPa; 充气后外直径 (D') ≤ 232 mm, 充气后断面宽 (B') ≤ 83 mm; 轮辋着合直径 (d) 100 mm, 着合宽度 (C) 62 mm, 胎圈座倾角 5° , 轮缘直径 138.1 mm。

2 结构设计

2.1 模型外直径 (D) 和断面宽 (B) 的确定

为保证设计余量, 轮胎充气后外直径 (D') = 226 mm, 充气后断面宽 (B') = 76 mm。

根据经验数据, 取外直径充气变化率 $\Delta D = \frac{D'}{D} = 1.097 1$, 即轮胎模型外直径 $D = \frac{D'}{\Delta D} = 226/1.097$

$l = 206$ mm。取断面宽充气变化率 $\Delta B = \frac{B'}{B} = 1.013 3$,

即轮胎模型断面宽 $B = \frac{B'}{\Delta B} = 76/1.013 3 = 75$ mm

2.2 着合直径 (d) 和着合宽度 (C) 确定

230×80-100 轮辋着合直径 (d) 100 mm, 胎圈座倾角 5° , 为保证航空轮胎在使用过程中不发生转口现象, 轮胎与轮辋采取过盈配合, 确定轮胎的着合直径为 98.6 mm, 胎锤倾角为 7° 。轮辋着合宽度 (C) 62 mm, 为使轮胎安装充气便捷及减少硫化废品率, 轮胎着合宽度较轮辋着合宽度 (C) 大, 本规格轮胎着合宽度确定为 64 mm。

2.3 轮胎断面高 (H) 及断面水平轴位置的确定

断面高 $H = (D - d)/2 = (206 - 98.6)/2 = 53.7$ mm。

为减轻下胎侧和胎圈部位应力, 适当加大 H_1 值, 本设计 H_1/H_2 取值为 1.265 8。则 $H_1 = 30$ mm, $H_2 = 23.7$ mm。

2.4 轮胎冠部弧度的确定

行驶面宽度 (b) 与着合宽度比值取 0.916 9, 即行驶面宽度 (b) = $64 \times 0.916 9 = 58.68$ mm, 冠弧高度 (h) 与 H_2 比值一般为 0.14~0.24, 胎冠弧度采用小曲率半径设计, 更符合小规格航空轮胎充气后的变化趋势,

作者简介: 高利辉 (1985-), 男, 本科, 工程师, 主要从事航空轮胎设计、轮胎有限元分析的研究。

本规格冠弧高度(h)与 H_2 比值取0.22,即冠弧高度(h)
 $=23.7 \times 0.22 = 5.2$ mm。依据冠弧计算公式:

$$R_n = \frac{b^2}{8h} + \frac{h}{2} \quad (1)$$

由(1)式计算可得,本规格轮胎冠部曲线半径为
 85 mm。

2.5 花纹设计

花纹采用航空轮胎通用弧沟式花纹,此种花纹在实际使用过程中具有良好的防侧滑、排水性能,根据本规格轮胎尺寸,确定胎面花纹共四条,花纹深度设计为4 mm。

花纹宽度根据轮胎充气后变化趋势,接近胎面中心的花纹充气后向两侧扩张大,较远的花纹沟扩张小,故确定1[#]花纹沟宽度为3 mm,2[#]花纹沟宽度为3.6 mm。花纹沟总体宽度设计为行驶面宽度的0.78%,取1[#]花纹沟距冠中9 mm,2[#]花纹沟距冠中23 mm。具体花纹设计见图1:

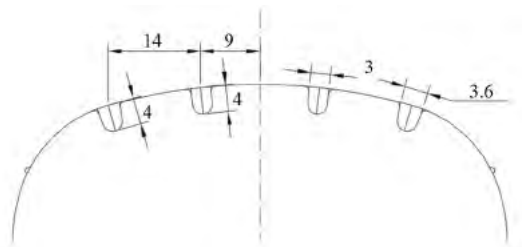


图1 花纹设计图

2.6 整体外轮廓设计

防擦线距冠顶的高度设计为 H_2 高度的0.55倍,取整数13 mm,装配线需高于轮辋轮缘高度,取装配线高度为21.75 mm。为保证胎冠与上侧弧的圆滑过渡以及防止肩部帘线过度伸张,肩部曲线取小半径圆弧,圆弧半径19 mm,下侧弧要与胎圈部位曲线平滑过渡,过渡曲线半径取60 mm。整体外轮廓曲线设计见图2。

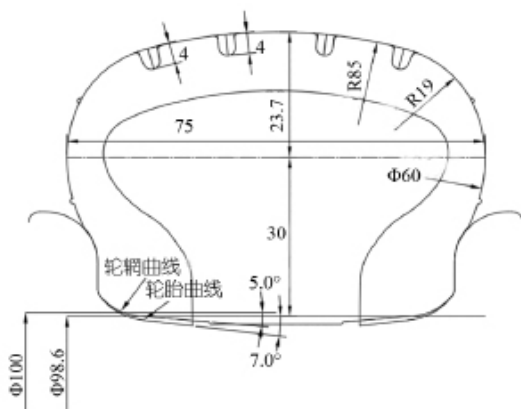


图2 外轮廓曲线整体设计图

2.7 轮胎负荷能力计算

本规格轮胎 $H/B=0.716$,根据飞机设计手册给出的此高宽比时的下沉量计算公式进行核算可知,在载荷2.3 kN,气压650 kPa下,轮胎的下沉量13.0 mm,下沉率为30.3%,符合额定条件下航空轮胎下沉率应处于28%~35%的要求。

3 施工设计

3.1 胎体骨架材料选取

选用1400dtex/2尼龙帘线作为胎体骨架材料,斜交结构轮胎由于帘线是按一定角度交错贴合的,为了保持各方的强力均匀,帘布层数设置为偶数,通过初步核算,胎体层共需4层。

高速轮胎充气后轮胎帘线冠角一般为55°~60°,本规格充气帘线冠角设计为57°,可以有效的抑制轮胎的周向膨胀,提高轮胎的临界速度。

3.2 胎圈骨架材料选取

选用Φ0.96HT镀锡青铜钢丝作为胎圈骨架材料,镀锡青铜钢丝具有与胶料间良好的黏合性能、耐腐蚀性和耐高温老化性能,胎圈采用单钢丝圈结构,通过初步核算,单胎圈需16根钢丝,排列形式为4×4,钢丝圈包布骨架材料采用1层1400 dtex/2尼龙帘线,裁断角度40°。

3.3 结构分布图

确定胎冠、胎侧、胎圈和钢圈底部材料的压缩系数,根据我公司多规格经验数据总结,胎冠部位材料压缩率3.5%,胎侧部位材料压缩率5.0%,胎圈部位材料压缩率10.5%,胎圈底部材料压缩率12.4%。

按照以上四个部位的材料压缩系数,绘制结构分布图,所有部件边缘保持适当的差集,均匀过渡,以免产生应力集中点,通过胎圈底部材料压缩率和胎圈座角度计算出钢圈直径为109 mm,具体见图3。

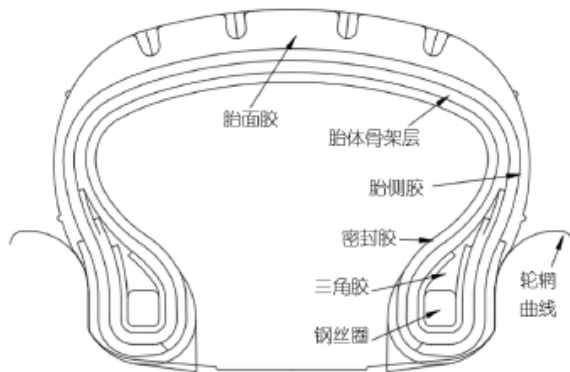


图3 结构分布图

3.4 重量

按照成品结构分布图绘制轮胎三维立体图形，利用三维软件分别计算胶部件、胎体骨架层和胎圈骨架层重量，整体三维图如图4所示。

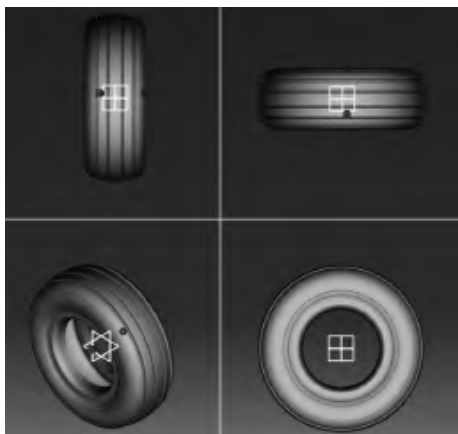


图4 成品外观图

公司航胎专用混炼胶的密度一般在 1.15 g/cm^3 ，纤维骨架材料的密度 1.15 g/cm^3 ，钢丝密度 7.86 g/cm^3 。软件测算如下：

胶部件和纤维骨架材料总重量为 0.884 kg ，具体见图5。

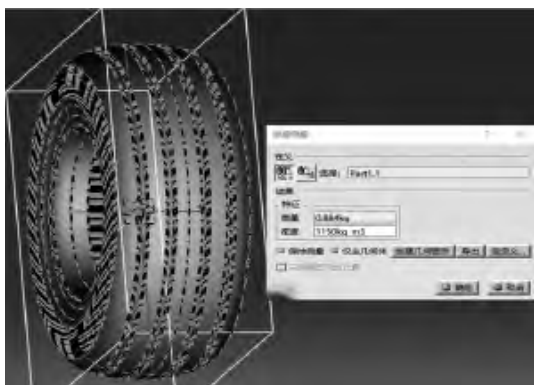


图5 胶部件和纤维骨架层重量测算

钢丝圈总重量为 0.148 kg ，具体见图6。



图6 钢丝圈重量测算

如图7通过软件计算出三维轮胎实际的重量，经

设计及计算，轮胎总重量为： $0.884+0.148=1.032 \text{ kg}$ ，符合重量 $\leq 2.0 \text{ kg}$ 要求。

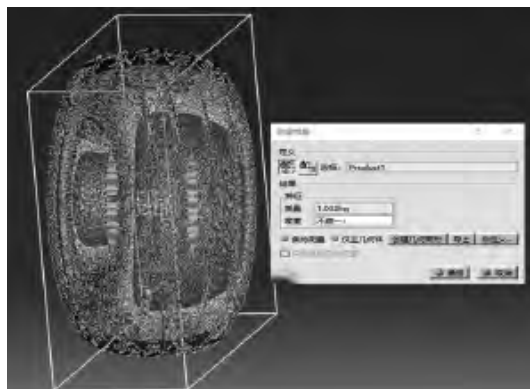


图7 轮胎总重量测算

3.5 胎体层安全倍数计算

胎体帘线应力的计算：经初步设计，胎体内层需要4层，按此结构计算：

$$N = P_o \times \frac{R_k'^2 - R_o'^2}{2 \times R_k' \times \sum i_k' \times \cos \beta_k'^2} \approx 12.74 \text{ N/根}$$

P_o —额定充气压力： 650_0^{+50} kPa ；

K —胎体帘线强度安全系数；

S —单根帘线强度（帘线强度指标 $\geq 215.6 \text{ N/根}$ ）。

胎体帘线安全倍数： $K = S/N \approx 16.9$ 倍。

符合相关标准规定的飞机轮胎的最小爆破压力一般应为额定压力的4倍的要求。

3.6 钢丝圈安全倍数计算

钢丝圈应力的计算：此规格轮胎高宽比较小，这种轮胎需胎脚非常稳定，所以设计时钢丝圈强度一般会给的比较高。同时为了增加轮胎与轮辋的结合面积，增大摩擦力，经初步设计，钢丝圈结构为 4×4 多排缠绕，单边1个，按此计算如下：

$$T = \frac{P_o \times (R_k'^2 - R_o'^2) \times \cos \beta_k'}{2 \times \cos \alpha_n} \approx 85.38 \text{ kg}$$

钢丝圈安全倍数的计算： $K = n \times S/T$

S —单根钢丝强度（ 140 kg/根 ）；

n —钢丝数量（根）

所以： $K = n \cdot S/T \approx 26.2$ 倍。

符合相关标准规定的飞机轮胎的最小爆破压力一般应为额定压力的4倍的要求。

3.7 成型

因 $230 \times 80-100$ 规格轮辋着合直径仅 98.6 mm ，受我公司现有成型机主轴尺寸限制，设计为不可折叠

的半芯轮式成型鼓，帘布筒到成品胎总伸张为 1.53，成型鼓直径 130 mm，为保证后续成型过程帘布质量，帘布筒到成型鼓的伸张设计为 1.08，通过成品结构分布图和成型鼓肩曲线可求出鼓宽为 145 mm。成型采用 2 层胎体帘布钢丝圈底部反包后压合，2 层帘布正包至钢丝圈底部后再次压合。

3.8 硫化

硫化采用液压式蒸锅硫化机，硫化胶囊根据模具设计尺寸选择斜交轮胎 B 型硫化胶囊 B3004。硫化条件：热水循环温度 160 ± 5 °C，外压蒸汽温度 143 ± 2 °C，热水循环压力 ≥ 2.6 MPa，正硫化时间 36 min，总硫化时间 45 min，后充气压力 0.65 ± 0.1 MPa，后充气时间 45 min。

4 有限元仿真分析验证

4.1 网格划分、属性定义等前处理工作

按照结构分布图完成各部位胶料和骨架材料网格划分，骨架材料设定为简单梁结构 (rod)；具体网格划分图如图 8。



图 8 230×80-100 有限元分析网格划分图

轮辋和路面在与轮胎接触作用时，相对于轮胎，轮辋和路面几乎不变形，因此根据客户提供轮辋图可将轮辋和路面设定为解析刚体（接触作用时无变形），刚体参考节点选择轮辋和路面质心点。

装配、外缘和负荷能力分析时需分别创建三个接触对：子口与轮辋、气密层与空气和胎面与路面。

骨架材料参数定义为 rebar layer 加筋层^[1]，所有骨架材料全部嵌入对应橡胶层，材质定义选用 marlow 模型，直接输入尼龙胎体帘线单轴试验数据进行分析。

橡胶材质设定：使用超弹性模型定义胶料材质属性，通过各部件胶料单轴拉伸数据导入分析软件拟合出应力-应变曲线，通过优选，yeoh 模型最为接近实

际试验数据，故胶料超弹性定义采用 yeoh 模型^[2]。

4.2 外缘尺寸仿真分析验证

轮辋装配分析采用静态非线性几何分析，边界条件设定仅将轮辋解析刚体完全固定（1~6 方向全部固定），由于轮胎与轮辋设计为过盈装配，过盈接触采用 shrink 约束关系，定义输出场变量和历史变量，过盈装配后的位移图如图 9。



图 9 230×80-100 过盈装配轮胎形变图

充气过程采用静态分析，边界条件设定为将轮辋和轮胎完全固定（1~6 方向全部固定），载荷采用面上的分布载荷 (DSLOAD)，数值为客户要求的 650 kPa，即将力均匀的施加在气密层表面，本次主要分析充气后的外缘尺寸变化情况，充气后的轮胎的变形图如图 10。

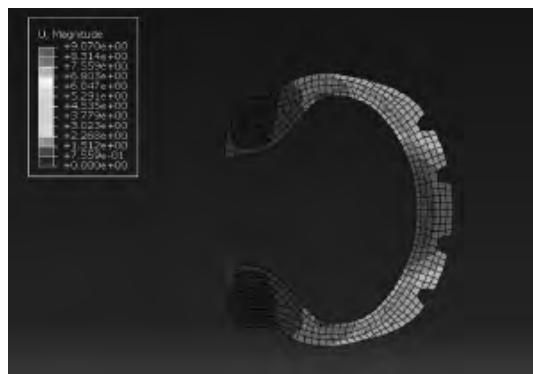


图 10 230×80-100 充气形变图

采用查询工具查询胎冠顶部和胎侧平衡线处结点位置值，可知充气后外直径为 $229.3954 \approx 229$ mm，断面宽为负值可知在充气完成后相较于没充气前是缩小的，故断面宽充气后为 $72.9856 \approx 73$ mm，经有限元对充气过程分析，按 2.1 中相似产品法所取经验值设计，轮胎外缘尺寸可满足客户要求。

4.3 骨架材料强度分析验证

4.3.1 帘线强度仿真计算

额定充气压力下，帘线应力分布及最大应力单元

如图 11。

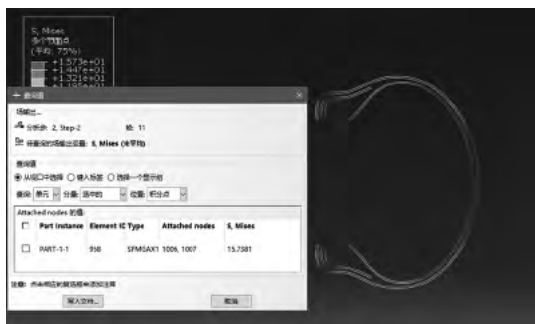


图 11 230×80-100 额定充气压力帘线应力图

查询帘线单元最大应力为 15.7 MPa, 换算单根帘线受力为 : 10.23 N/ 根, 1400dtex/2 尼龙帘线单根拉断强度 ≥ 170 N, 故仿真分析可知额定充气压力下帘线安全倍数为 16.6 倍, 符合相关标准规定的飞机轮胎的最小爆破压力一般应为额定压力的 4 倍的要求。

4.3.2 钢圈强度仿真计算

额定充气压力下, 钢圈应力分布及最大应力节点如图 12。



图 12 230×80-100 额定充气压力钢圈应力图

钢圈采用简化模型, 按截面积整体划分网格, 仿真结果查询钢圈节点最大应力为 67.2 MPa, 换算单根钢圈受力为 : 95.35 N/ 根, $\Phi 0.96$ HT 镀锡青铜钢丝单根拉断强度 ≥ 1530 N, 故仿真分析可知额定充气压力下钢圈安全倍数为 16.0 倍, 符合相关标准规定的飞机轮胎的最小爆破压力一般应为额定压力的 4 倍的要求。

4.4 负荷能力仿真分析验证

创建三维轮胎模型, 为节省分析资源又能保证分析精度, 对与路面接触部位网格进行细化, 创建平面模型, 因路面相较轮胎在接触过程中几乎不变形, 可将路面创建为解析刚体 (不变形), 参考节点为路面重心, 建立轮胎与路面之间的接触对, 接触对摩擦系数设置为 0.5, 建立分析步, 采用静态非线性分析, 首先边界条件设定为将轮辋和路面 1~6 个方向自由度

全部进行约束, 在气密层添加面载荷 DSLOAD, 模拟轮胎内表面充气 650 kpa, 然后边界条件放开地面 3 方向 (轮胎径向 Z 轴方向), 将地面抬高, 载荷设置为集中载荷 CLOAD 等于 2.3 kN, 进行加载, 具体如图 13。



图 13 230×80-100 额定负载应力分布图 (去除钢圈)

历史变量输出 U3 位移曲线, 通过计算得出轮胎在充气压力 650 kpa, 载荷 2.3 kN 时的下沉量为 13.914≈13.9 mm, 下沉率 30.6%, 按此设计经有限元分析轮胎下沉率符合额定条件下航空轮胎下沉率应处于 28%~35% 的要求。轮胎接地压力分布和形变如图 14、图 15。

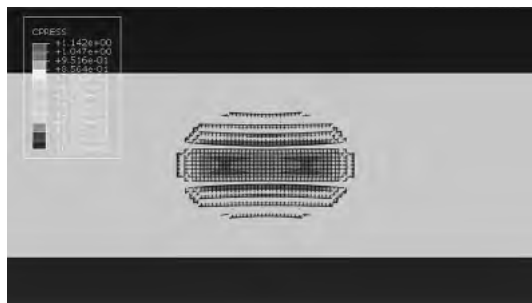


图 14 230×80-100 额定条件下接地压力分布

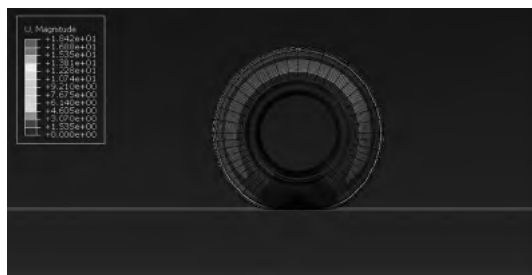


图 15 230×80-100 额定载荷形变图

5 成品性能

按照相关标准及产品规范要求, 对 230×80-100 进行了各项试验检测, 检测结果符合设计目标: 轮胎重量 1.1 kg, 充气外直径 227 mm, 充气断面宽 75 mm, 额定条件下轮胎静负荷下沉量 31.6%, 耐压性能 6.9 倍; 按照公司标准进行了耐久验证, 耐久性能满足客

户要求。

公司在小型航空轮胎的设计方面的经验。

6 结语

230×80-100 航空轮胎经产品设计、有限元性能分析, 轮胎充气外缘尺寸、重量和载荷等各项性能均能满足客户要求, 成品质量稳定可靠, 同时也增加了

参考文献:

- [1] 尹伟奇, 姚振汉, 薛小香等. 加强筋模型在轮胎有限元分析中的应用 [J]. 橡胶工业, 2004, 51(9): 544-545.
- [2] 靳金鑫. 航空轮胎有限元建模与静态性能分析 [D]. 长春, 吉林大学, 2022: 5-6.

Design of 230×80-100 small aviation tires

Gao Lihui, Wang Liye, Zheng Zhichao, Li Qiang, Shen Bo

(Shaanxi Yanchang Petroleum Northwest Rubber Co. LTD., Xianyang 712000, Shaanxi, China)

Abstract: This article introduces the design and finite element analysis of the 230×80-100 small aircraft tire. Structural design: The outer diameter is 206 mm, the section width is 75 mm, the contact diameter is 98.6 mm, the contact width is 62 mm, the horizontal axis position is 1.2658, the depth of the curved groove pattern is 4 mm, and the tire deflection is calculated to be 30.3%. Construction design: The carcass material is selected as 1400dtex/2 nylon cord, with a cord safety factor of 16.9 times. The steel rim is made of Φ0.96HT tinned bronze steel wire as the skeleton material, with a single steel rim design and a steel rim safety factor of 26.2 times. The molding method is 2,2, using a non-foldable semi-core wheel-type molding drum. The curing process utilizes a capsule-type curing press, with a capsule model of B3004. Finite element design analysis: The inflated outer diameter is 229 mm, the inflated section width is 73 mm, the cord safety factor is 16.6 times, the steel rim safety factor is 16.0 times, and the tire deflection under rated pressure and load is 30.6%. The finished product inspection results indicate that the tire performance meets the design and customer requirements.

Key words: aviation tire; structural design; construction design; finite element analysis

(R-03)

4 亿增资落地! 轮胎业公司发力新项目

A capital increase of 400 million has been implemented! The tire industry company is investing in new projects

近日, 天眼查及国家企业信用信息公示系统信息显示, 豪迈科技 (002595.SZ) 全资子公司豪迈机械科技 (日照) 有限公司完成工商变更, 注册资本由 3 亿元增至 7 亿元, 增资 4 亿元, 增幅达 133%, 企业资金实力大幅提升。

据悉, 日照豪迈科技成立于 2025 年 2 月, 由豪迈科技 100% 控股, 主营机械设备研发、橡胶加工专用设备制造、高端金属零部件加工等业务, 依托日照临港区区位优势, 承接集团高端制造产能转移任务。本次增资事项已于今年 4 月经上市公司董事会审议通过, 增资资金全部来源于公司自有资金, 股权结构保持不变。

此次增资为集团日照两大核心产业化项目筑牢资金底盘。此前豪迈科技公告, 将依托日照子公司, 合计投资超 29 亿元, 落地高端装备关键零部件研发及产业化、高端轮胎绿色制造配套项目, 聚焦轮胎模具、高端机械零部件主业扩产提质。

作为国内轮胎模具龙头企业, 豪迈科技持续优化区域产能布局。日照厂区坐拥港口物流优势, 可有效降低原材料及成品运输成本, 拓宽海外供货渠道。本次大幅增资, 标志着公司本年度产能扩张计划正式落地, 助力公司扩充高端产能、完善临港产业布局, 进一步巩固行业市场份额, 提升全球化供货能力与核心盈利能力。

摘编自“聚胶”

(R-03)