航空轮胎成品主要检测设备综述

王超群，齐立平
（青岛双星轮胎工业有限公司，山东 青岛 266400）

摘要：在简要介绍航空轮胎成品检测项目和设备的基础上，针对航空轮胎成品检测技术装备专业化、差异化特性，重点论述了静平衡差度试验机、激光数字错位散斑无损检测仪、动态模拟试验机、水压爆破试验机、导静电性能试验仪、静负荷试验机、耐久性试验机和X光检测机的结构组成、工作原理和主要技术参数等，对航空轮胎生产制造企业成品检测具有指导、借鉴意义。

关键词：航空轮胎；成品检测；检测设备；外观；性能
中图分类号：TQ330.4^{+}92；TQ336.1^{+}1 **文章编号**：1006-8171(2020)11-0648-09
文献标志码：A **DOI**：10.12135/j.issn.1006-8171.2020.11.0648

OSID开放科学标识码
（扫码与作者交流）

航空轮胎是飞机起落架的重要部件，必须抗冲击、抗刺扎、耐高温。苛刻的使用条件要求航空轮胎成品检测项目和方法与一般车辆轮胎不同，同时要求检测设备必须适应检测项目需要，在生产应用中不断更新换代，向智能化、信息化和专业化方向发展[1]。

1 航空轮胎成品检测简介

目前，国内航空轮胎检测方法和标准趋于成熟和完善，国家标准和国家军用标准与国际标准趋于一致。按照国家标准GB/T 9747—2008《航空轮胎试验方法》和国家军用标准GJB 108B—1998《军用航空轮胎试验方法》规定，航空轮胎主要检测项目包括动态模拟试验、爆破压力试验、静负荷性能试验、导静电试验、静平衡差度试验、内部缺陷检测、断面分析、物理性能试验、充气外缘检测、质量称量、无内胎轮胎气密性试验、有内胎轮胎胎圈密合压力试验和外观质量检查等[2-3]。除动态模拟试验可申请国家指定专业检测机构执行外，其余项目都必须进行出厂批次检验。

2 航空轮胎成品检测设备

根据对技术装备要求的专业性、适用性和差异性不同，航空轮胎成品检测项目分成三类：一类是一种设备只能对应检测一类项目，专业化较强，如静平衡差度试验、动态模拟试验、爆破压力试验、静负荷性能试验、内部无损检测和导静电试验等；另一类是配备工装相对简单、人工操作较多，如断面分析、充气外缘检测、质量称量、气密性试验和密合压力试验等，需用一些测量器具和配套轮辋，按照GB/T 9747—2008和GJB 108B—1998标准即可实施；还有一类是检测项目与一般车辆轮胎相同，可以使用相同的检测设备进行试验，如航空轮胎物理性能试验中胎面胶和胎侧胶的性能、帘线性能和帘布层间粘合强度试验等。后两类检测项目配套装备齐全、技术成熟、标准完善，在此不作赘述，本文重点对第一类装备进行论述。

2.1 静平衡差度试验机

为了控制航空轮胎在高速行驶中的抖动，地面速度在200 km·h^{-1}以上的航空轮胎都要进行静平衡差度试验，并在轮胎内侧胎顶贴平衡补片，使静平衡差度控制在标准范围内。

静平衡差度试验是航空轮胎成品检测项目中非常重要的一项。在国内，静平衡差度试验对设备需求尚未形成规模，静平衡机尚处于开发研制阶段，轮胎生产厂家使用的静平衡机主要依靠进口。在此过渡阶段，使用子午线轮胎动平衡试验机检测航空轮胎静平衡差度具有可行性，可满足

作者简介：王超群（1974—），男，安徽颍上人，青岛双星轮胎工业有限公司工程师，学士，主要从事橡胶设备技术研究工作。
E-mail：1410004241@qq.com

检测项目及修补校正的要求。

2.1.1　静平衡机

静平衡机卧式安装，轮胎立式测量，轮毂尺寸与待测静平衡轮胎相匹配。静平衡机装配轮胎后静止位可标记轻点位置，从测力机构上读取的静不平衡力数值表示轮胎的静平衡差度，测试原理如图1所示，试验机精度不大于10 g。

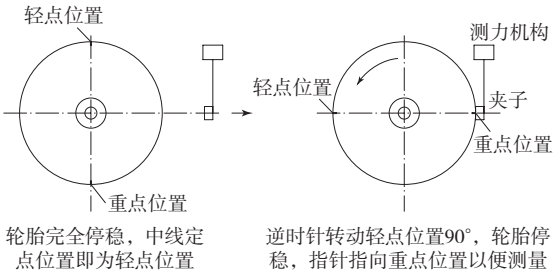


图1　静平衡机测试原理示意

按下式计算试验轮胎的静平衡差度：

$$M = W \times \frac{D_n}{2} \tag{1}$$

式中：M为试验轮胎的静平衡差度，N·cm；W为试验测出的轮胎静不平衡力，N；D_n为试验轮胎的最大内直径，cm。

静平衡机结构原理和工装配备相对简单，测量效率和精度不高，随着动平衡试验机的出现，国内外此类航空轮胎静平衡机几乎全部停产，国内新的专业测量设备尚处于开发研制阶段。

2.1.2　子午线轮胎动平衡试验机

为了测量航空轮胎成品静平衡差度，可利用现有的子午线轮胎动平衡试验机。德国SCHENCK公司、日本国际计测器株式会社、意大利SICAM公司、日本神户制钢所和我国软控股份有限公司等专业动平衡试验机生产厂家都生产此类在线检测设备，检测项目包括上不平衡量及角度、下不平衡量及角度、总静不衡量及角度、力偶不平衡量及角度、跳动度及角度等。航空轮胎静平衡差度是指合成静不平衡量，从结构原理、工装配备、测量方法和测量精度等方面论证均具有可行性。

现以日本国际计测器株式会社生产的FDBRC-6142TB-R型全钢载重子午线轮胎动平衡试验机（见图2）为例进行介绍。

测试航空轮胎必须配备静平衡测试专用轮辋，航空轮胎外直径、断面宽、胎圈直径和质量必须满足设备技术性能要求，同时通过零位标定、量标定、偏心校正和零校正等相关校验。

图2　全钢载重子午线轮胎动平衡试验机

（1）工艺流程。轮胎进入定中润滑工位润滑胎圈，再由传送辊输送到测量工位，上轮辋下降与下轮辋夹紧锁定轮胎胎圈、充气达到规定充气压力，轮胎旋转，速度稳定后即可进行压电传感器的数据采集。轮胎减速达到规定速度进行跳动度数据采集，然后停止旋转，放气，轮胎进入下一个工位，整个过程结束。

（2）设备机构。由轮胎输入、定中润滑、动/静平衡测量、分级打标以及分级输出5个工位组成。

（3）电气控制系统。控制系统包括工控机、伺服控制器及伺服电动机、变频器及变频电动机、可编程控制器、气动元件及气缸、低压控制电气元件、各种传感器以及编码器。

（4）测控系统。上位机测控软件将采集到的数据进行存储、滤波、运算，并显示结果。

（5）标定计算。标定计算是动平衡试验机计算的核心部分，通过动平衡参数标定可以减少数据误差对计算的影响，同时也消除系统误差[4]。

（6）静平衡差度值测试根据。航空子午线轮胎静平衡差度的要求：对于主轮胎，$M \leqslant 0.003\ 83 D_w^2$（$D_w$为轮胎最大充气外直径）；对于其他轮胎，$M \leqslant 0.002\ 74 D_w^2$。

航空轮胎静平衡差度试验只是使用动平衡试验机中的一项检测功能，对于力偶不平衡度、跳动度等参数，可同时测量，但只作为参考。

（7）检测结果校正。如果航空轮胎静平衡差度测试值超过要求，需要修正后重新检测，可按照下式进行计算：

$$M_b = \frac{1\,000M}{9.8D_n/2} \tag{2}$$

式中，M_b为航空轮胎静平衡差度修补量，g。

以46×17R20主轮航空轮胎为例，若静平衡差度检测值超过标准（56 N·cm），需要按式（2）计算结果进行修补。

一种方法是使用专门配制的动平衡试验机修饰液进行修补，修饰液呈胶糊状，其配比（kg）如下：胶料 15，辛基酚醛增粘树脂 4.6，间接法氧化锌 48，120#汽油 125±10。修饰液涂刷在航空轮胎轻点角度胎顶内侧，修补量通过小型电子台秤称量（单位为g）。

另一种方法是贴平衡补片，航空轮胎修补专用平衡片有7种规格，由修补量折算出相应规格平衡片，按照航空轮胎安装平衡片工艺程序，使用专用化学药水及柔性轴砂轮、鼓风砂轮、轮廓型轮、钢丝刷等专用工具进行贴平衡片修补。

2.1.3 自动平衡机

米其林等专业航空轮胎生产厂家使用航空轮胎专用自动平衡机测试静平衡差度。德国Hofmann公司生产的轮胎自动平衡机有EVD100R/A和EVD300R/A两种规格，可兼顾215.9～584.2 mm（8.5～23英寸）轮辋几乎所有规格航空轮胎的静平衡差度测试，如图3所示。

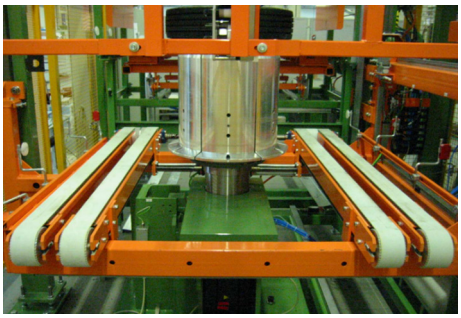


图3 航空轮胎自动平衡机主机

（1）工艺流程。航空轮胎被传送到自动平衡机的中心站并固定。升降台下降，6爪适配器调整夹紧轮胎，设备加速旋转，测量不平衡量并标记。停止旋转后，松开加紧的轮胎，升降台向上移动，轮胎被传送到下个工位。

（2）设备结构及测量系统。轮胎中心定位由可同时涨缩的4只机械臂的定心夹具来实现，定心夹具固定在传送装置上，传送装置可将轮胎放到适配器上。6爪轮胎适配器能够夹紧轮胎一起旋转，一种规格适配器直径调整范围为76.2～101.6 mm（3～4英寸），在旋转中心支座上可安装不同的夹爪适配器。

通过使用标准环、校准砝码和带有自动零点校正的校准系统来调整测量设备，从而消除数据误差对计算结果的影响。

（3）控制系统及软件。采用西门子S7 PLC、测量电子设备、打印机、驱动器、接触器、变压器、工业PC等。控制和测试软件采用开放统计程序，通过该软件可以很容易确定平衡机符合ISO 9000标准要求。以指示器指示静态不平衡量（从0.1 g到200 kg）及不平衡位置，测试期间转子变形或变化可自动测试和校准。

（4）技术数据。包括轮胎最大质量、轮胎外直径（最小、最大）、轮胎宽度（最小、最大）、平衡速度、主驱动额定功率、电动机转速、测量精度、静态不平衡标准量偏差、静态不平衡标准角度偏差和测试周期等。

自动平衡机利用动平衡原理测试静平衡差度值，测试过程中使用夹爪适配器代替动平衡试验机上的专用轮辋，节省费用，减少轮胎充气环节，同时标定配置校准环和砝码，对适配器等相关组件进行偏心校正和零校正，相对动平衡试验机的轮辋校正较为简单，操作可行性强。自动平衡机平均测量精度不大于25 g·cm，测量偏差不大于10 g·cm，角度偏差为1°～5°，在保证与动平衡试验机同等级测量精度和偏差的情况下，每条轮胎的测量周期短于18 s，相对动平衡试验机测试的平均用时45 s，检测效率提升2.5倍。但EVD100R/A和EVD300R/A系列航空轮胎自动平衡机高昂的价格限制了其普及应用。

2.2 激光数字错位散斑无损检测仪

航空轮胎主要内部质量缺陷是脱层和气泡，只有采用激光无损检测技术才可有效检测出来。在GB/T 9747—2008和GBJ 108B—1998标准中均规定无损检测是必检项目，规定航空轮胎使用全息照像检测方法。轮胎激光全息无损检测仪包括激光器和全息干涉仪、真空系统、防震系统、机械系统和电气控制系统、扩胎机、再现系统及底片冲洗处理、翻拍、印像、放大等设备。

激光全息照像是激光无损检测中应用最早的一种方法，通过对轮胎施加真空载荷，有缺陷部位与其他部位形变量不同，加载前后的相位和光强

记录在全息干板上，形成全息干涉图像。激光全息检测对胎体震动极为敏感，对隔震性要求严格；同时，采用感光干板全息记录介质，还要进行底片显影、定影等化学处理过程，费时、费钱，检测结果判定滞后。

数字全息检测技术采用电荷耦合器件图像传感器（CCD）代替全息干板全息图，曝光时间短，取消繁琐的化学处理过程，采用计算机数字记录和再现，图像处理方便，可减少或消除像差、噪声、畸变等缺陷。但是由于CCD光敏面尺寸小而像素尺寸较大，使数字再现像的分辨率低，像质较差。

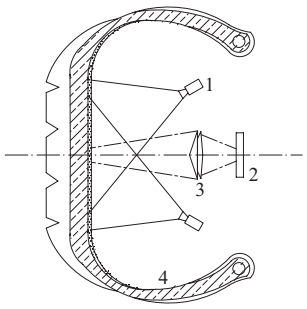
对于航空轮胎内部质量缺陷检测，以上两种无损检测技术逐步被激光数字错位散斑无损检测仪取代，如图4所示。

图4　激光数字错位散斑无损检测仪

激光数字错位散斑无损检测仪主要包括主机、真空装置、垂直线性升降装置、操作控制台、气动系统、多探头/线性运动及其驱动装置、轮胎规格尺寸光电自动识别装置、装胎/卸胎装置、自动轮胎翻转器、电控柜及电气控制系统、激光系统、相位剪切CCD相机、图像分析处理系统、数字机械控制系统等。

激光数字错位散斑无损检测是基于散斑原理，利用激光错位干涉测量技术，描述轮胎形变前后空间散斑分布的变化量，采用真空加载双曝光方法，通过CCD直接记录加载前后的干涉条纹图像。经过数值处理的干涉条纹因轮胎内部存在脱层或气泡等质量缺陷而发生畸变，可清晰显示在屏幕上，如图5所示[5]。

激光数字错位散斑无损检测仪为激光全息和数字全息照像检测仪的更新换代产品，记录仪采用数字化处理和显示方式，代替全息干板或照片，计算机分析软件自动把质量缺陷的位置和大小计算出来，CCD摄像系统和精确的相移技术得到轮胎形变的相位图，通过自动计算使轮胎内部缺陷



1—带扩散镜的激光器；2—CCD元件；3—分光错位装置；4—轮胎。

图5　激光数字错位散斑检测原理示意

信息在屏幕上清晰地显示。激光数字散斑无损检测技术是一种对轮胎内部缺陷进行无损全场检测的新型技术，涉及激光系统、散斑干涉、图像采集和处理、计算机、精密测试等多个技术领域，较激光全息和数字全息技术具有实时、无损伤、无需防震装置、检测质量好和效率高等优点，被广泛应用于航空轮胎生产检测线上。

目前，激光数字错位散斑检测技术在轮胎行业已经普及，国内软控股份有限公司和广州华工百川科技股份有限公司等企业已开发出新一代多探头、全自动、高效率的激光数字错位散斑轮胎无损检测系统。

德国Steinbichler公司生产的INTACT1200型航空轮胎检测机技术先进，可快速全范围、非接触地实施激光数字错位散斑轮胎无损检测，适用航空轮胎规格最小内直径为406.4 mm（16英寸），最大外直径为1 250 mm。检测头集激光器、扩束镜、CCD、相位器、成像物镜于一体，可以做垂直、水平、旋转和倾斜4个方位运动，可一次性对整条轮胎进行检测，每条轮胎的检测时间为1～2 min，检测质量缺陷分辨率为1 mm。

2.3　动态模拟试验机

航空轮胎动态模拟试验结果必须满足中国民航总局（CAAC）颁布的技术标准要求。达到中国技术标准规定（CTSO）是CAAC设定的机载成品系统必须达到的最低适航要求和最低安全标准，由此可见通过CTSO动态试验的重要性[6]。

在轮胎产品鉴定前采取随机抽检方法，在动态试验机上进行模拟操作试验，如图6所示。

动态模拟试验按照GB/T 9747—2008和GJB 108B—1998标准规定，真实地模拟航空轮胎在跑

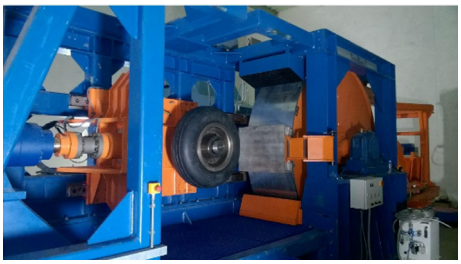


图6 动态模拟试验机

道上的各种操作情况，分析研究轮胎地面动态性能，在满足轮胎充气压力、温度、速度、试验次数、负荷等试验条件下，完成航空轮胎起飞、着陆、滑行、制动、加速等相关试验环节，最后得出试验结果和试验报告。

动态模拟试验机由试验框架、2 MW交流电动系统、690 V逆变器系统、6.3 kW/690 V变压器、主鼓、主轴驱动/制动装置及其控制系统、两工位轮胎加载系统、两工位轮胎冷却系统、两工位轮胎制动系统、气动系统、液压系统、电气和自动化控制系统、轮胎滑移/外倾角机械调整装置及其电气控制系统、轮胎充气压力控制系统、高速摄像系统等部分组成。

主鼓通过刚性框架(基础框架)连接到试验框架上，加载系统从两侧安装到基础框架上，加载单元安装有低摩擦因数轴承，主电动机驱动鼓旋转，压力传感器安装在液压加载单元和轮胎总成(包括专用动态测试轮辋)之间，两个工位可分别装配较小和较大规格航空轮胎：大工位，轮胎直径范围 550～1 830 mm，最大断面宽 660 mm，负荷范围 10～800 kN；小工位，轮胎直径范围 550～1 500 mm，最大断面宽 660 mm，负荷范围 0.5～250 kN。

动态模拟试验机具备胎面和胎侧探头测量系统，用于测量径向和轴向轮胎动态轮廓。轮胎承受液压加载，轮胎转动速度由电动机控制单元控制，电源电压 6.3 kV，电动机最高转速 1 114 r·min^{-1}(640 km·h^{-1})，电动机最大力矩 约37.7 kN·m(持续15 s)，电动机平均功率 约380 kW，14.24 s内可加速至640 km·h^{-1}，60 s内速度可下降至零。

目前，国内使用的动态模拟试验机主要依赖进口，以德国亚琛测试服务有限公司生产的航空轮胎试验机为代表，技术性能先进、专业性强、适用规格范围大，但价格昂贵。

2.4 水压爆破试验机

在GB/T 9747—2008和GJB 108B—1998标准中都对航空轮胎水压爆破试验做出具体规定。航空轮胎与子午线轮胎水压爆破试验机通用，国产设备完全满足工艺要求。以青岛高测科技有限公司生产的GC-YLY-100型轮胎水压爆破试验机(见图7)为例进行说明。

图7 轮胎水压爆破试验机

(1) 主要参数：水压系统管路内直径 ≥6 mm；泵出口到轮胎气门嘴耐压管长度 <10 m；最大试验压力 10 MPa；水压调整速度 10～300 kPa·min^{-1}；水压测量精度 ±1%；保压时间 ≥3 min；泄压方式 手动泄压；工作电压 380 V(AC)，50 Hz；控制器电压 24 V(DC)；试验满足标准 HG/T 2186—2012《轮胎水压试验方法》。

(2) 设计加工航空轮胎专用爆破轮辋，其规格与测试航空轮胎一致，并配置安全防护笼。

(3) 根据GB/T 11191—2004《航空轮胎爆破压力试验方法》[7]，使用高压胶管与轮胎气门嘴连接，以每分钟不大于300 kPa的速度向轮胎内充水；当试验压力达到不低于4倍轮胎额定充气压力时，保持3 s。如果需要测量轮胎实际压力值，则一直充水至轮胎爆破。

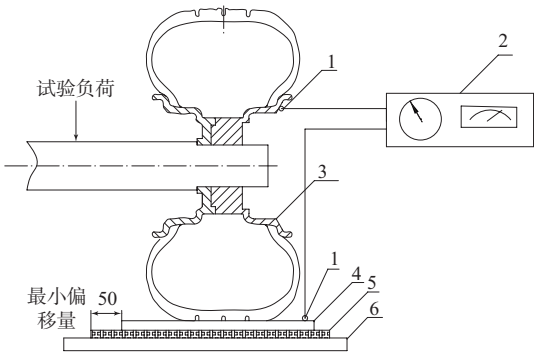
针对大规格航空轮胎测试提出如下改进措施：一是水压爆破试验机只有一种内直径的管路，大规格航空轮胎冲水时间过长，可增设一套大流量管路用于快速充水过程，至升压过程再切换到小口径管路，保证冲压速度不致过快；二是轮胎爆

破过程中冲击过大，造成很大的安全隐患，主要原因是轮胎内腔空气排除不完全，水气混合爆破冲击大，要求设计爆破轮辋时配置专用气门嘴，深入胎体内侧顶部，尽可能排除胎体内腔空气，防止轮胎爆破伤人。

2.5　导静电性能试验仪

飞机在空中高速飞行过程中与空气摩擦产生的静电全部聚集在机体，必须在着陆时迅速释放才能保证飞机的着陆安全。在GJB 108B—1998标准中规定了导静电性能试验方法，即利用电学原理测量轮胎外表面电阻以检验导电性能。试验采用电阻测试仪、导电液（聚乙二醇、蒸馏水、氯化钾等定比配置）、接触电极、夹具等，两端接触电极在距上下胎圈底部25 mm的两侧对应外表面测量电阻，测试6个数据，取算术平均值。

自航空轮胎专用电阻测量装置投入应用后，以上涂擦导电液的测试方法逐步淘汰，新型专用测量装备可以直接测量电阻数据，无需配置专用导电液、接触电极等辅助器材。SAE ARP 6404—2011《航空轮胎电阻测试》按照ASTM F1971—2005《试验台负荷下轮胎电阻的标准试验方法》规定，航空轮胎测试的轴向位置的平均电阻应小于10^7 Ω。航空轮胎电阻测试如图8所示。



1—连接点；2—电阻测试仪；3—轮辋；4—金属承载板；5—绝缘板；6—基础承载板。

图8　航空轮胎电阻测试示意

加载设备可以使用静负荷试验机，其需提供轮胎呈放射状朝向底座的加载负荷，精确度要求为±1%。

金属底座和加载设备之间的电阻比轮胎的测试值至少大两个数量级。压力表要求精确度为±3 kPa。试验负荷为轮胎胎侧标志的单胎负荷的80%，试验压力为轮胎负荷能力对应压力的80%[8]。

日本HIOKI公司生产的SM7110型/SM7120型高阻计如图9所示。该高阻计可测量航空轮胎电阻，具有1 000 V（2 000 V）电压容量，测量值可达到10^{19} Ω，最快测量时间为6.4 ms。

图9　高阻计

用以上方法测试航空轮胎电阻值以判断导电性能，若需要测试航空轮胎部件的电阻率，需要购置专用SM9001测试电极和Z5010转换器。

2.6　静负荷试验机

静负荷性能试验是在规定充气压力下施加规定的连续负荷，绘制出轮胎轮廓随负荷而变化的曲线，可获得轮胎的外直径、断面宽、静负荷半径、下沉量、下沉率及负荷-变形曲线。同时，根据需要还可以测量试验轮胎的接地印痕。

静负荷、强度试验机是既可以检测轮胎压穿强度又可以检测静负荷性能的综合性轮胎检测设备。根据航空轮胎规格和最大额定负荷，可选用负荷量程不同的轿车轮胎、载重轮胎和工程机械轮胎静负荷试验机测试航空轮胎静负荷性能，若最大额定负荷超出现有设备承载极限，需要对静负荷试验机进行专门设计选型，选型关键参数主要包括负荷量程、最大行程、加载速度等。设备选型确定后，根据GB/T 9747—2008和GJB 108B—1998标准规定，按照试验条件和程序，得出试验结果和试验报告。

静负荷、强度试验机结构形式主要有两种，一种是穿刺棒和静负荷板在轮胎上方，轮胎安装在主轴上不动，加载系统带动平台压向轮胎，完成静负荷和强度试验，如图10（a）所示。另一种是穿刺棒和静负荷板在轮胎下方，采用伺服电动机和减速机驱动滚珠丝杠加载，轮胎向下运动，以规定的试验速度进行轮胎强度和静负荷试验，如图10（b）

(a)穿刺棒和静负荷板在轮胎上方

(b)穿刺棒和静负荷板在轮胎下方

图10 静负荷、强度试验机

所示,加载负荷大于100 kN的试验机通常采用此类结构。

下面以青岛高测科技股份有限公司生产的GC-YLD-1514型轮胎静负荷、强度试验机为例进行说明。

(1)主要技术参数:航空轮胎轮辋规格范围406.4～584.2 mm(16～23英寸),试验轮胎外直径 700～1 500 mm,试验轮胎最大断面宽 500 mm,最大负荷 200 kN,径向加载试验速度 50 mm·min^{-1},快速前进、后退速度 500 mm·min^{-1},电力负荷 5 kVA。

(2)径向负荷伺服加载系统由伺服减速电动机、滚珠丝杠和滑动箱组成,提供航空轮胎强度试验、静负荷试验的负荷加载。

(3)主控制系统负责控制航空轮胎试验速度及负荷,保证轮胎试验过程中数据和试验结果的准确输出。控制系统采用上位机管理和PLC控制两级管理控制方式,可以实现智能化操作。

该试验机配备航空轮胎专用机床试验轮辋,与用户单位标准试验轮辋尺寸相匹配,可选择轮胎充气压力测量、静负荷胎侧变形检测、胎面印痕测试等功能。

3 成品检测其他装备

以上检测装备是在航空轮胎出厂前进行严格检验的必备工装,随着检测设备性能的提升和检测项目的完善,还有部分辅助检测设备也具有重要作用,包括耐久性试验机和X光检测机等。

3.1 耐久性试验机

航空轮胎在出厂前完成除动态模拟试验外所有检测项目后,由国家指定的专业航空轮胎检测机构进行动态模拟试验,通过后还要进行适航认证和制造商资格审查等。由于动态模拟试验机价格昂贵,一般航空轮胎生产厂家无法承担采购成本,即使委托外协专业机构检测,一种规格航空轮胎试验费用也需要数十万元。较多航空轮胎生产厂家为了初步验证航空轮胎高速负荷性能,在动态模拟试验之前,选择耐久性试验机检测航空轮胎动态模拟试验中的滑行试验性能。

按照GB/T 9747—2008和GJB 108B—1998标准规定,航空轮胎无论是低速着陆试验、高速着陆试验还是起飞试验,试验速度基本都在200 km·h^{-1}以上,试验负荷在150 kN以上,轿车轮胎、载重轮胎和工程机械轮胎耐久性试验机在试验速度和试验负荷上不能两者兼顾,无法进行航空轮胎模拟飞机起飞和着陆的动态试验,只能进行动态滑行试验。

根据航空轮胎外直径、最大额定负荷和转鼓表面转速,可选用负荷量程不同的轿车轮胎、载重轮胎和工程机械轮胎耐久性试验机测试航空轮胎的耐久性能。下面以46×17R20规格航空轮胎为例进行论述。

根据航空轮胎滑行试验条件(额定负荷或1.2倍额定负荷,最小速度为64.4 km·h^{-1},滑行距离为10 668 m等)及轮胎外直径、最大负荷、试验速度等关键参数,选择天津久荣工业技术有限公司生产的TJR-2-ORT(Y)型工程机械轮胎耐久性试验机模拟航空轮胎滑行试验,如图11所示。

图11　耐久性试验机

(1) 主要技术参数:卧式机架,双工位,转鼓直径×宽度　Φ3 000 mm×1 000 mm,轮胎直径　800～2 500 mm,轮胎最大断面宽　1 000 mm,最高试验速度　100 km·h^{-1},最大试验负荷　400 kN,液压伺服闭环加载,电动机功率　361 kW (DC)。

(2) 试验机由主机、电动机驱动系统、液压加载系统和控制系统组成。主机由转鼓工位轮胎主轴、滑台总成、中间和左右底座组成。使用361 kW直流电动机和独立的全数字直流调速装置,实现电动机的调速和制动。液压加载系统使用FF102高精度伺服阀控制加载油缸,并通过传感器和放大器实现闭环伺服控制。

3.2　X光检测机

X光检测是航空轮胎内部无损检测的一种,X射线穿透金属材料能力差,显示出明显影像,而对胎体纤维帘线、各种胶料等有机物质穿透能力强,无明显影像。此种特性是用来检查轮胎内部金属杂质和钢丝圈异常的主要手段,是对激光错位散斑无损检测的完善和补充[9]。

GB/T 9747—2008和GJB 108B—1998标准规定采用X光检测轮胎缺陷,其设备主要包括X射线管、摄像装置、轮胎操纵装置等,利用X射线穿透航空轮胎胎体能使胶片感光的特点进行无损检测,如图12所示。目前生产使用的X光检测设备具有放大系统,分辨率极高,也可检测胎圈断裂、变形等质量缺陷。

X光检测机的技术核心是X射线发生和图像生成。X射线系统由射线控制器、X射线管、水冷却器和高压发生器组成,穿过轮胎的射线量根据轮胎结构和密度不同而变化。X光检测机成像系统利用数字成像原理,轮胎在驱动装置的作用下匀速运动,分别位于胎面和胎侧的探测器将X射线直接转化成数字信号,成像显示与轮胎形状相匹配,轮胎的整个横截面一次成像,转动一周可形成整周的轮胎X光图像[10]。

图12　X光检测机

根据航空轮胎规格,可选择大到工程机械轮胎、小到轿车轮胎的X光检测机进行检测。

4　结语

航空轮胎成品检测设备尤其是关键装备在国际上存在技术和资源垄断,国内技术装备水平有待进一步提高,在设备设计选型、工装器具研制等工程技术方面不够成熟,国内航空轮胎生产厂家的关键检测设备还主要依赖进口。

国内航空轮胎检测标准和方法依然采用20世纪前后的标准,随着检测技术装备创新力度的加强和技术水平的提升,老旧的技术测试方法已经被先进的方法替代,航空轮胎相应的检测标准和方法需要及时编制和更新。

航空轮胎作为飞机安全部件,国内航空轮胎制造商拥有巨大的市场机遇。成品检测技术装备被国外专业公司垄断的局面将逐步被打破,市场空间广阔、前景光明,目前形势也为前期进入航空轮胎成品检测设备制造领域的企业创造了技术领先、市场竞争的优势。

参考文献:

[1] 于海勇,韩聪聪,郑植,等. 航空轮胎胎坯径向均匀性建模分析[J]. 橡胶工业,2020,67(5):341-345.

[2] 全国航空轮胎标准化分技术委员会. 航空轮胎试验方法:GB/T 9747—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008:1.

[3] 国防科学技术工业委员会. 军用航空轮胎试验方法:GJB 108B—

1998[S]. 北京：中国标准出版社，1998：1.
[4] 胡会杰. 全自动轮胎动平衡试验机的研制[D]. 北京：中国石油大学，2011：10-17.
[5] 盛保信. 航空翻新轮胎胎体检测的必要性[J]. 轮胎工业，2009，29(3)：131-136.
[6] 席龙，汤恒仁，肖妮，等. 民机机载设备CTSO取证飞行试验技术[J]. 中国科技信息，2017(22)：43-44.
[7] 全国航空轮胎标准化分技术委员会. 航空轮胎爆破压力试验方法：GB/T 11191—2004[S]. 北京：中国标准出版社，2004：3.
[8] 全国轮胎轮辋标准化技术委员会. 轮胎电阻测量方法：GB/T 26277—2010[S]. 北京：中国标准出版社，2011：1-3.
[9] 张元刚，刘中华. 基于GLCM算法的轮胎0°带束层接头缺陷检测[J]. 橡胶工业，2018，65(12)：1402-1406.
[10] 王超群，朱延国. 航空轮胎翻新主要设备及投资建议[J]. 轮胎工业，2018，38(9)：517-519.

收稿日期：2020-05-27

Overview on Main Inspection Equipment for Finished Aviation Tires

WANG Chaoqun，*QI Liping*
(Qingdao Double Star Tire Industry Co.，Ltd，Qingdao 266400，China)

Abstract：On the basis of a brief introduction to the inspection items and equipment of finished aviation tires，focusing on the specialization and differentiation characteristics of the inspection technology and equipment of the finished aviation tires，the structure，working principle and main technical parameters of the static balance difference testing machine，the laser digital dislocation speckle nondestructive tester，the dynamic simulation tester，hydraulic blasting testing machine，electrostatic conductive performance tester，static load testing machine，durability testing machine and X-ray inspection machine were mainly discussed. This overview provided guidance and reference significance for the inspection of the finished products of aviation tire manufacturers.

Key words：aviation tire；finished tire inspection；inspection equipment；appearance；performance

横滨橡胶投建农林及工程机械轮胎厂

横滨橡胶株式会社(简称横滨橡胶)日前宣布，将在印度安得拉邦的维沙卡帕特南县新建一个农林及工程机械轮胎工厂。按橡胶用量计算，该厂日产能为55 t。项目总投资为1.65亿美元，约合人民币11.2亿元。其建设工程于2020年9月启动，预计2023年年初建成投产。

该工厂由ATG公司(Alliance Tire Group B.V.)承担。新工厂占地面积约32万m^2，建成投产后，将生产联盟(ALLIANCE)、银河(GALAXY)和Primex 3个品牌的轮胎。目前，ATG在印度古吉拉特邦的多赫德县和泰米尔纳德邦的蒂鲁内尔维利县拥有两家工厂。新建工厂将成为ATG在印度的第3家生产基地。受全球轮胎市场需求增加的拉动，ATG于2018年将多赫德工厂的年产能提高到原来的1.6倍。本次新建工厂是为了满足市场的更高需求。

横滨橡胶在日本有3个工程机械轮胎生产基地，在以色列和越南各1个，加上此次建设的新工厂，在印度有3个。折算工程机械轮胎日产能总计达480 t(橡胶用量)，横滨橡胶的工程机械轮胎竞争力将进一步增强。

据悉，横滨橡胶为了扩大商用车轮胎事业，2016年与拥有ATG公司股份的全球投资公司KKR及其他股东达成协议，收购ATG全部股票。之后，ATG专注生产和销售农业、工业车辆、建筑、林业机械用轮胎，其生产的子午线轮胎和斜交轮胎在以欧洲、北美为中心的世界120多个国家销售。

通过本次对ATG的收购，横滨橡胶的商用车轮胎产品阵营增加了农业和林业机械用轮胎。通过对ATG的收购，将扩大横滨橡胶的商用车轮胎事业，并加速其全球化的脚步。

(摘自《中国化工报》，2020-09-21)