

团 体 标 准

T/CSAA 2X—2024

零件冲击试验方法 第 4 部分：复合材料平板抗冲击性能试验

Impact testing method for components

Part 3: Impact resistance test of composite plate

(征求意见稿)

2024-X-XX 发布

2024-XX-XX 实施

中国航空学会 发布

T/CSAA 2X-2024

中国航空学会（英文简称 CSAA）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国航空学会团体标准，以满足企业、市场需求和社会发展的需要，推动航空技术创新和航空应用新模式，是中国航空学会标准化工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国航空学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国航空学会团体标准按《中国航空学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国航空学会团体标准草案经向社会公开征求意见、专家评审、公开公示等流程，方可由中国航空学会予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国航空学会团体标准推进工作委员会。

本标准版权为中国航空学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国航空学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国航空学会地址：北京市朝阳区安外北苑 2 号院

邮政编码：100012 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.csaa.org.cn 联系人：梁勇 电子信箱：csaa_123@163.com

目 录

- 目 录 I
- 前 言 II
- 1 范围 1
- 2 规范性引用文件 1
- 3 术语和定义 1
- 4 一般要求 2
 - 4.1 试验目的 2
 - 4.2 试验环境 2
 - 4.3 试验人员 2
 - 4.4 试验设备及仪器 2
 - 4.5 测试设备 4
 - 4.6 试验件要求 5
 - 4.7 试验室要求 6
 - 4.8 安全要求 6
- 5 详细要求 6
 - 5.1 试验程序 6
 - 5.2 试验数据录取和处理 7
 - 5.3 试验数据有效性评定 7
 - 5.4 试验报告 8

前 言

本文件依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本文件是 T/CSAA 2X-2024《零件冲击试验方法》的第 3 部分。T/CSAA 2X-2024 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：液滴射流靶向冲击试验；
- 第 2 部分：液滴旋转装置试验；
- 第 3 部分：螺旋桨叶片抗外来物冲击试验；
- 第 4 部分：复合材料平板抗冲击性能试验。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国航空航天工具协会与中国航空学会联合提出。

本标准由中国航空航天工具协会与中国航空学会联合归口。

本标准起草单位：西北工业大学、中国航空工业成都飞机设计研究所、中国航天科技集团公司一院 703 所、安徽羲禾航空科技有限公司。

本标准主要起草人：

本标准首次发布。

零件冲击试验方法 第4部分：复合材料平板抗冲击性能试验

1 范围

本文件规定了利用空气炮进行复合材料平板抗冲击性能试验的试验目的、试验环境、试验设备仪器、试验人员、试验样品、试验项目、试验程序、试验数据录取和处理、试验结果评定、试验报告等方面要求。

本文件适用于复合材料平板抗冲击性能测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GJB 2464A-2020 飞机透明件鸟撞试验方法

3 术语和定义

下列定义的术语适用于本文件。

3.1

空气炮 gas gun

由储气罐、发射机构、炮管等组成，用于发射弹体撞击试验件。

3.2

弹体 missile body

用于对螺旋桨叶片试验件造成冲击的被抛射物，可以是明胶弹，也可以是特定形状的金属质量块。

3.3

撞击点 impact point

弹体质心前进轨迹与前进中受试复合材料结构表面的交会点。

3.4

冲击速度 impact speed

冲击物接触被测试件前，冲击物在运动方向上的速度。

3.5

穿透 penetration

冲击物的冲击侵彻作用使冲击物完全穿过被测试件，且在被测试件的另一面完全露出。

3.6

剩余速度 residual velocity

弹体击穿被测试件后的速度。

3.7

临界穿透速度 critical penetrating velocity

被测试件被穿透，但剩余速度为零的弹体初始速度。

4 一般要求

4.1 试验目的

通过空气炮发射明胶弹或特定形状的金属质量块，模拟复合材料平板受到鸟撞以及硬物冲击的工况，以测试复合材料平板试验件的抗冲击性能，获得复合材料平板试验件的损伤特性。

4.2 试验环境

试验环境应符合飞机型号设计规范，或由试验任务书规定。若无规定，试验应在下述条件下进行：

- a) 环境温度：20℃±5℃；
- b) 大气压力：8.4×10³Pa~1.06×10³Pa；
- c) 相对湿度：40%~80%。

4.3 试验人员

试验人员应熟练掌握试验室的业务知识，熟悉试验设备、仪器、仪表及安全设施的使用方法和安全操作规程，并会正确操作。试验人员上岗前应经过相应的上岗培训并取得相应资质。

4.4 试验设备及仪器

4.4.1 试验设备基本组成

试验设备主要由弹体发射系统、弹体、弹托、靶架系统、高速摄像机、夹具及温度控制系统组成，温度控制系统可根据试验的温度要求进行配置，试验设备组成示意如图 1 所示。

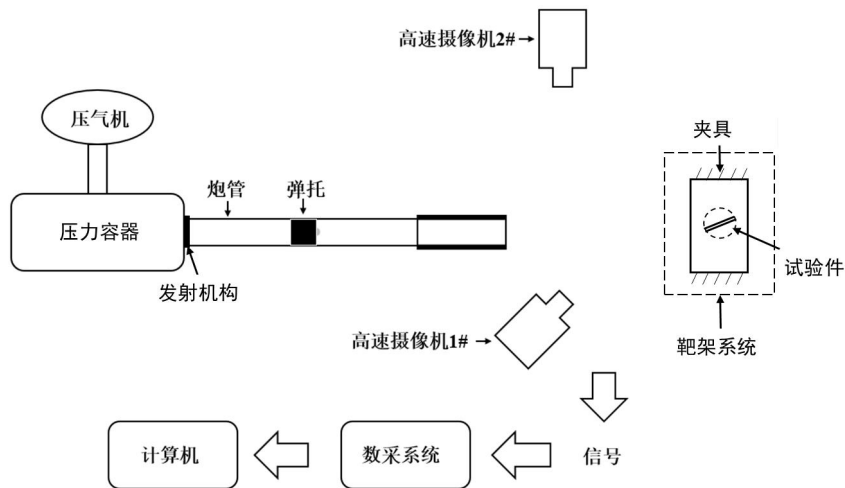


图 1 试验系统示意图

4.4.2 弹体发射系统

发射系统用于发射弹体，该系统主要由压气机、压力容器、发射机构、炮管和弹托等部分组成：

- a) 压气机应能在较短时间内使压力容器内达到试验所需压力；
- b) 压力容器依据弹体质量和冲击速度来设计压力容器的容积和允许工作压力；
- c) 发射机构可以是手动、电动或气动装置，该装置应在充气过程中不漏气，在发射时保证压缩

空气在瞬间全部快速通过；

- d) 炮管内壁光滑，内径和长度依据弹体质量大小、弹体射出速度以及对空气炮的性能要求来选定；
- e) 弹托为与弹体和炮膛内壁很好匹配的圆柱形桶，弹托可用泡沫塑料或其他材质制作；
- f) 弹托止动装置应很好的使弹托和弹体分离，并采取必要措施，防止弹托碎屑干扰测速系统或撞击损伤试验件。

4.4.3 弹体

4.4.3.1 鸟弹

鸟弹的制作应满足以下要求：

- a) 在试验使用前 1h 内将鸡窒息至死或宰杀。鸡在包装前应首先进行称重，使用的称量器具精度至少为鸡重量的 0.5%；
- b) 鸟弹的包装材料可选用聚乙烯薄膜、棉织品或尼龙等材质；
- c) 鸟弹的重量应满足 GJB2464A-2020 的相关规定。

4.4.3.2 明胶弹（人工鸟弹）

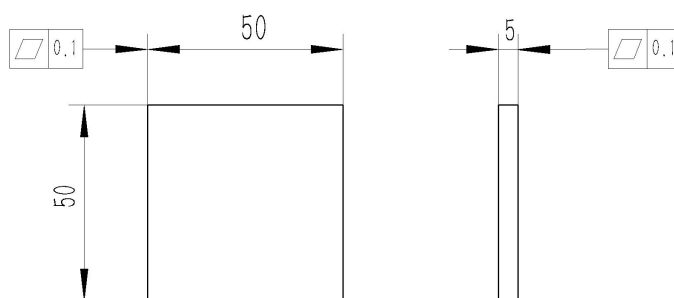
明胶弹制作应满足以下要求：

- a) 明胶弹的制作应满足一定的配比要求，其参数应接近密度为 900-1000kg/m³，孔隙率为 10%；
- b) 明胶弹的制作是通过将明胶溶液浇筑于模具中，脱模过程中要非常小心，保证明胶弹不至于在发射前就发生变形或破坏；
- c) 明胶弹的制备宜作为实验准备工作的最后一个环节，每一发弹体都使用 0.5mm 的聚酯膜环绕包覆，竖立储存于保鲜柜中，第二天即投入使用。

4.4.3.3 金属质量块

金属质量块弹体宜为 50×50mm 的正方形钛合金弹片，其尺寸可见图 2。

单位为毫米



注：其余形状的金属质量块使用时需满足试验任务书的要求。

图 2 正方形弹片

4.4.4 靶架系统

靶架系统用于提供试验件安装支承平台和安全防护，主要由试验台、防护屏组成，靶架系统应满足以下要求：

- a) 试验台应由底架和试验件支承架两部分组成，能够承受较大冲击载荷；
- b) 试验件支承架角度应可调节，同时在底架上能作三维移动定位，以满足试验件上弹着点的选择；
- c) 防护屏应能接收校准试炮时发射的弹体，同时能够承受冲击载荷。

4.4.5 夹具

夹具如图 3 所示，其设计应便于试验件的安装、调整，撞击过程中不干涉试验件变形，不妨碍速度测量系统和摄像系统的工作。

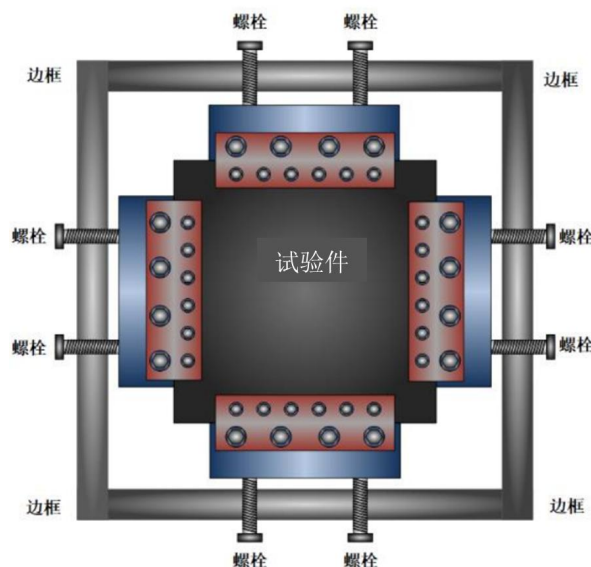


图 3 夹具示意图

4.4.6 温度控制系统

温度控制系统用于加热或冷却试验件，达到试验所要求的温度。通常试验温度范围为 -50°C ~ 550°C 可调。所用设备应能提供均匀的热源或冷源，在规定的时间内使试验件达到所要求的温度和稳定的温度梯度。

该系统主要由升温装置、降温装置等组成：

- a) 升温装置：可采用铝合金盖罩，罩内安装具有一定功率的石英红外线加热灯管或电热丝加热装置，或用电热毯等覆盖在试验件表面进行加热，也可采用试验件自行加温（如电加温玻璃）；
- b) 降温装置：可采用铝合金盖罩，罩内通入液氮降温装置；
- c) 若试验件在其他高低温箱内加热或冷却，则试验件自高低温箱内取出至子弹撞击的时间间隔不应大于 5min；
- d) 温度控制系统应能够满足在保温过程中温度波动不超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

4.5 测试设备

4.5.1 天平

使用测量精度为弹体重量 0.5% 以内的天平测量弹体的重量。

4.5.2 速度测置系统

速度测量系统用于测量冲击体实际冲击速度，测速方法和设备有多种，本标准建议的测速方法有两种：激光测速法或高速摄像测速法。

速度测置系统应满足以下要求：

- a) 激光测速法以特定间隔平行放置两股激光束，通过激光束被弹体遮挡的时间计算冲击速度。激光束的方向需与冲击物运动方向垂直；
- b) 高速摄像测速法使用高速摄像记录冲击物运动过程，通过跟踪弹体上某个点来测量冲击速度；
- c) 测速系统的精度应在冲击速度的 1% 以内。

4.5.3 应变测量系统

应变测量系统用于测量试验件在受撞击过程中试验件所产生的应变，该系统由应变传感器、超

动态应变仪、瞬态记录仪等组成：

- a) 采用的应变传感器应校准并验证其工作的可靠性；
- b) 采用的超动态应变仪和瞬态记录仪应有足够高的响应频率，至少在 100k 以上；
- c) 整个系统的静态标定精度应在士 1% 以内，动态应变测量精度在士 10% 以内。

4.5.4 高速摄像系统

高速摄像系统用于记录弹体接触试验件前的飞行轨迹、冲击时的姿态、撞击点位置、接触试验件的时间以及冲击后弹体运动状态，试验件的碎裂和碎片散布情况等。高速摄像拍摄速度应不低于 10000 帧/s。必要时，应使用辅助光源，确保高速摄像系统能够清晰的拍摄冲击全过程。

4.6 试验件要求

4.6.1 试验件尺寸及形状

试验件应为正方形，如图 4 所示，试验件的名义长度（ 250 ± 0.3 ）mm，名义宽度为（ 250 ± 0.3 ）mm，建议名义厚度为（ 8 ± 0.3 ）mm。可以根据需要，选取合适的厚度，但应使边长与厚度的比值不小于 20。另外，需要在报告中叙述实际使用的厚度。

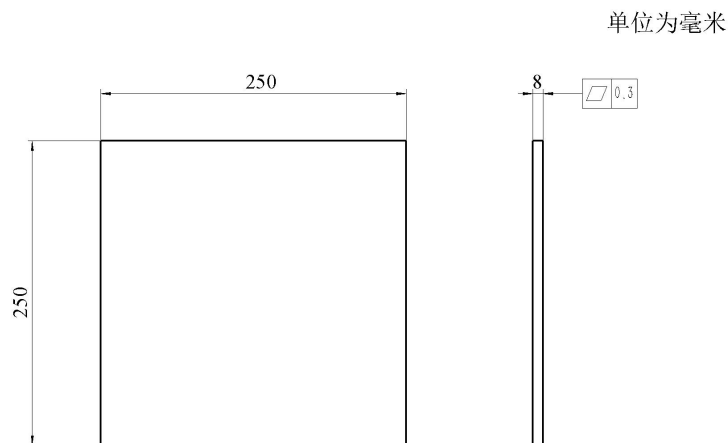


图 4 试验件尺寸

4.6.2 试验件制备

所有试验件应是符合生产图样和专用技术要求的合格件，并附带合格证或质量证明文件。试验件的制造和加工应符合以下要求：

- a) 加工时应保证试验件平坦，表面互相平行；
- b) 切割试验件时应避免由于不恰当的加工方法引起的切口、刻痕、粗糙、分层或不平的表面；
- c) 记录并报告制备试验件的切割方法。

4.6.3 试验件安装

试验件的安装满足下列要求：

- a) 试验件应通过夹具紧固在通用或专用试验台上，安装状态应满足任务书/委托书要求；
- b) 试验件四边均匀夹持，夹持力矩不小于 $10\text{N} \cdot \text{m}$ ，试验件中心点应位于弹道轨迹上；
- c) 试验件上的预定弹着点应以炮管中轴线为基准确定，为保持弹体冲击姿态，靶板与出弹口距离约为 0.2m。

4.6.4 标识

应对试验件进行标识，以相互区分，且确保可追溯性。标识不应影响试验，也不应受试验影响。

4.7 试验室要求

试验室应设置安全防护措施，至少将炮口及试验件部分应放置在一密闭空间内，可安装观察窗和安全门，密闭空间内的墙体应做保护处理。

4.8 安全要求

4.8.1 在试验期间，空气炮的操纵和维护应有周密的人身安全保护措施。

4.8.2 用绳索围起或用栅栏隔开试验场地，包括从空气炮口到试验台在内的适当范围内的区域。

4.8.3 在发射之前发出警告信号，所有人员撤离现场。同时，安全负责人员检查现场，以确保试验场地确实没有任何人。

4.8.4 在发出撤离试验场地的警告信号之后，如有必要需要有人进入试验场地时，必须采取足够的安全措施，保证空气炮不会发生失误击发，直到再次撤离试验场地。

4.8.5 试验结束后，应及时清洗试验场地，清除掉弹体及碎块。

4.8.6 试验场内应有保护屏，以保护人员和设施免受撞击后飞出碎片的损伤。

5 详细要求

5.1 试验程序

5.1.1 冲击速度校准

5.1.1.1 根据试验的要求，首先安放速度测量系统和高速摄像系统等，调试、检查所有试验仪器设备的运行状态，确保测量系统可靠运行。

5.1.1.2 每次正式试验前，要根据试验要求的弹体和冲击速度确定试验所需要的压力，并进行实弹射击，如果实弹射击速度与要求速度偏差超过 $\pm 3\%$ ，则调整气炮压力再次进行实弹射击，直至弹速偏差小于 $\pm 3\%$ 方可进行正式试验。

5.1.2 冲击姿态校准

每次正式试验前，需要通过调整试验室环境、弹托安装方式或其余可能的因素，对试验要求的弹体和冲击姿态进行调整，直至连续两次实弹射击的冲击姿态满足要求，方可进行正式试验。

5.1.3 正式试验

5.1.3.1 使用激光、镜子、水平仪等方法，确认空气炮或加速装置瞄准了试验件中心，且方向与试验件法向对齐。测量并记录使用的冲击物的重量，以g为单位，精确到小数点后1位有效数字。

5.1.3.2 随后将弹体放置于弹体发射系统，并将同等尺寸的模拟试验件安装在夹具上。校准弹速以及弹着点位置，按照5.1.1.2校准后的参数对设备进行参数设置，使弹速偏差在 $\pm 3\%$ 以内，校准弹着点位置。

5.1.3.3 对待测试件进行外观检查，有初始缺陷、对于不符合要求的试验件，应予以作废。使用千分尺或具有同等以上精度的器具测量试验件厚度，核对并记录试验件结构。如需测量撞击过程中试验件应变，则检查缺陷后在试验件内表面，按所需方向粘贴应变片，粘贴时要排除干净粘结层的空气，确保粘结层的牢固度和方向的准确性。

5.1.3.4 按照4.6.3的要求安装试验件，检查、调整试验件的安装角度和安装位置，重新校准预定冲击位置。

5.1.3.5 如果对试验件温度有特别要求，应启动温度控制系统对试验件进行调温工作，当试验件温度达到试验要求时，应立即撞击。

5.1.3.6 试验件安装就绪、各项准备工作完成，且各测量系统运行正常后，则对试验件撞击前状态和仪器状态进行拍照。然后开始向压力容器充气，根据5.1.1.2的校准结果选择合适充气压力，达到压力值时停止充气，向各观测人员发出准备发射信号，各观测人员确认各自所管测量仪器工作正常，

则立即启动空气释放装置发射弹体，同时触发高速摄像机以及采集系统。

5.1.3.7 弹体发射撞击试验件后，首先记录、保存好各项试验数据，以防止电子数字化数据的丢失，然后对撞击后试验件的状态进行拍照，照片中要显示出试验件编号、撞击点位置、撞击速度等信息。

5.1.3.8 通过高速摄像系统或速度测量系统记录弹体冲击速度以及剩余速度（如果穿透）。通过高速摄像系统记录弹体冲击前后的过程。通过应变采集系统记录试验件在受撞击过程中各点所产生的应变。

5.1.3.9 记录试验结果，目视检查和记录试验件的损伤程度，检查试验件损坏情况并给出抗冲击能力评价结果。

5.2 试验数据录取和处理

5.2.1 冲击动能

冲击动能按公式（1）计算。

$$E_0 = \frac{MV_0^2}{2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

M ——弹体质量；

V_0 ——弹体初始速度。

5.2.2 能量吸收率

能量吸收率按公式（2）计算。

$$R = \frac{v_0^2 - v_r^2}{v_0^2} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

V_r ——弹体剩余速度；

V_0 ——弹体初始速度。

5.2.3 剩余速度

剩余速度按公式（3）计算。

$$V_r = \sqrt{V_0^2 - V_{50}^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

V_0 ——弹体初始速度；

V_{50} ——临界穿透速度，通常认为在临界穿透速度冲击条件下，弹体有超过 50%穿过靶板并镶嵌于靶板。

5.3 试验数据有效性评定

以下两种情况的试验结果为有效试验：

- a) 若实际冲击位置的中心与试验件几何中心的位置相差小于 20mm，该次试验有效。
- b) 若冲击前弹体姿态任一角度的偏差小于 10° ，该次试验有效。

5.4 试验报告

试验报告的内容通常包括：

- a) 试验名称、试验项目、时间、地点、目的、依据和试验人员；
- b) 试验件情况，包括试验件名称、数量、来源，撞击位置和角度以及安装方法；
- c) 测试设备及方法，测量仪器及其精度说明、数据采集装置的型号与配置，数据采集速率；
- d) 试验中出现的试验现象描述；
- e) 每个试验件的实测尺寸及目视检查记录，包括试验前后试验件目视检查结果和有关照片；
- f) 测试的试验件数目。
- g) 试验记录：实验室或环境箱（如果使用）温度及相对湿度、试验前后试验件状态、试验件温度、冲击体重量、冲击速度；
- h) 高速摄像记录，包括摄像机的位置以及网格背景的大小和位置，和相关数字化文件；
- i) 试验结果。

参考文献

无。
