



中华人民共和国国家军用标准

FL 9910

GJB 5314 - 2004

航空航天器低速风洞测压试验方法

Test method for aerodynamic pressure measurement
of aerospace craft model in low speed wind tunnel

2004 - 12 - 21 发布

2005 - 05 - 01 实施

中国人民解放军总装备部 批准

前 言

本标准由中国人民解放军总装备部司令部提出。

本标准起草单位：中国空气动力研究与发展中心。

本标准主要起草人：张 晖、李 明、华尚钟、高业芝、侯 波。

航空航天器低速风洞测压试验方法

1 范围

本标准规定了在低速风洞中进行航空航天器(实物或模型)表面定常测压试验的基本方法。

本标准适用于在生产性低速风洞中进行的飞机、火箭及航天飞行器(实物或模型)表面定常测压试验。非航空航天试验对象表面的定常测压试验可参照使用。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包括勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准,但提倡使用本标准的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡未注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GJB 180 - 1986 低速风洞飞机模型设计规范

GJB 567A 中国国防科技报告编写规则

GJB 1179 高速风洞和低速风洞流场品质规范

GJB 4296 - 2001 风洞试验术语和符号

GJB 4395 - 2002 航空航天器低速风洞测力试验方法

3 术语和定义

GJB 4296 - 2001、GJB 4395 - 2002 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 测试点 **pressure - sensing point**

在进行风洞测压试验时,为获得定量的数值化结果,需将试验对象表面离散为有限个区域很小的面或点,并在这些面或点上测量试验对象表面压强。这些离散的数量有限的面或点称为测试点。

4 基本要求

4.1 试验任务书

4.1.1 试验任务书是试验任务承担方执行风洞试验任务的主要技术依据,由试验任务委托方提出。

4.1.2 试验任务书应包括试验名称、试验目的、试验模型特征、技术要求、试验项目、要求测定的数据、特殊的数据处理方法、试验条件、质量保证要求等内容。

4.2 试验大纲

试验大纲是风洞试验室执行风洞试验任务的主要技术依据,由试验任务承担方制定。必要时,试验大纲应得到试验任务委托方认可。试验大纲应包括如下内容:

- a) 试验名称、任务来源、试验目的、技术要求、试验条件;
- b) 试验项目(包括必要的辅助性试验项目)、要求测定的数据;
- c) 试验编号序列规划;
- d) 相关试验运行、测量设备,数据处理软件;
- e) 与数据处理有关的模型几何参数,数据修正方案及使用原则;
- f) 技术难点与技术措施,试验现场重大问题的预案与处理原则等。

4.3 风洞

4.3.1 试验段流场品质应满足 GJB 1179 的规定。

4.3.2 动压控制系统、模型姿态角控制系统及数据采集与传输系统应满足相应的技术要求。

4.3.3 应配备安全保护装置。

4.4 试验模型

4.4.1 试验模型设计应符合 GJB 180 - 1986 的规定，对于长度方面的偏差要求，可按 GJB 4395 - 2002 中 5.2.4 的规定执行。

4.4.2 试验模型在风洞内安装前应当在实验室完成平台组装检验，并记录检验测量值。

4.5 模型支架系统

4.5.1 模型支架系统本身应具有足够的强度与刚度，能约束与固定模型。

4.5.2 模型支架系统还应具备一套作动机构，实现试验模型的姿态角变化，姿态角的控制误差绝对值应不大于 $3'$ 。

4.5.3 暴露在风洞气流中的模型支杆表面宜作滚花或多棱面处理。

4.5.4 模型支杆附近不宜布置测试点。在模型支撑方案设计时，应考虑减小支杆对试验结果的干扰。必要时，可采用多种支撑方式完成同一期试验。

4.6 测压系统

4.6.1 组成

测压系统包括压强感受元件、压强传递装置、测压传感器和数据采集装置。

4.6.2 压强感受元件

4.6.2.1 选择压强感受元件时，应考虑减小其对模型表面流动状态的干扰并能真实感受模型表面压强。

4.6.2.2 若选择测压孔感受模型表面气流静压，测压孔应符合 GJB 180 - 1986 中 2.3、2.4 和 2.5 的规定。

4.6.3 压强传递装置

4.6.3.1 压强传递装置内部应具有通气性。当压强传递装置输入端与输出端出现不小于 3200Pa 的阶跃压强差时，2s 内其两端的压强差值应小于 8Pa。

4.6.3.2 压强传递装置内部与外界应有良好的气密性。当压强传递装置内压强与外界压强差大于 3200Pa 时，60s 内装置内外压强差损失应小于 8Pa。

4.6.3.3 压强传递装置应具有抗压性，并应在下述条件下满足通气性和气密性要求，当其内部压强比外界压强：

- a) 高 0 倍至 1.5 倍试验动压时；
- b) 低 0 倍至 10 倍试验动压时。

试验时，压强传递装置承受的内外压强差不宜超出上述范围。

4.6.4 测压传感器

4.6.4.1 测压传感器的精确度值应小于风洞试验动压值的 0.3%。当测量获得的未经修正的压强系数绝对值大于 3 时，测压传感器的精确度值可放宽到风洞试验动压值的 0.5%。

4.6.4.2 测压传感器应在其量程范围内使用。

4.6.4.3 测压传感器应定期检定，并在检定合格有效期内使用。

4.6.5 数据采集装置

数据采集装置应选用自动采集记录设备，其精度应优于测压传感器精度。自动采集记录设备应定期检定，并在检定合格有效期内使用。

5 试验方法与程序

5.1 技术交接和技术协调

由试验任务委托方代表向试验任务负责人、试验运行负责人等进行技术交接。介绍试验内容、重点、背景、特殊要求等，并负责对《试验任务书》未尽和不详的事宜进行解释。必要时，须填写《试验任务技术协调书》备案。

5.2 模型交接与模型点验

- 5.2.1 由试验任务委托方代表与试验任务负责人、试验运行负责人共同完成试验模型交接。
- 5.2.2 随同模型交接的通常还包括相应的模型图样、模型强度计算报告、模型出厂检验报告及出厂合格证。
- 5.2.3 交接时，应逐项清点模型部件、零件、附件等的件数，并进行登记。
- 5.3 模型的平台检验
- 5.3.1 试验模型在进入风洞安装之前应进行平台检验并做书面记录，由试验任务委托方代表与试验运行负责人签字后由试验任务负责人存档。
- 5.3.2 模型的平台检验项目包括模型拆装和重要参数测量，必要时可按 GJB 180 - 1986 或模型出厂检验报告的内容进行详细检查。
- 5.3.3 模型状态应符合 GJB 180 - 1986 的规定或模型设计要求。
- 5.3.4 压强感受元件及与其固连的压强传递装置的检查宜在试验模型平台检验阶段进行。当压强感受元件采用测压孔时，应检查测压孔的数量、位置、质量以及测压孔及与其固连的压强传递装置的通气性与气密性。
- 5.3.4.1 测压孔数量。该项检查依据模型设计要求进行，测压孔数量应不少于设计值的 98%。
- 5.3.4.2 测压孔位置。该项检查应抽取不少于 5% 的测压孔，并依据模型设计要求进行。该项检查不合格测压孔的数量应不大于被抽取测压孔数量的 10%。相邻不合格孔的数量不超过两个。
- 5.3.4.3 测压孔质量。该项检查应抽取不少于 5% 的测压孔，并依据 4.6.2 或模型设计要求的規定进行。该项检查不合格测压孔的数量应不大于被抽取测压孔数量的 10%。相邻不合格孔的数量不超过两个。
- 5.3.4.4 测压孔及与其固连的压强传递装置的通气性与气密性。该项检查标准应符合 4.6.3 的规定。该项检查不合格测压孔及与其固连的压强传递装置的数量应不大于设计值的 4%。
- 5.3.4.5 进行 5.3.4.2 和 5.3.4.3 项检查时，应考虑关键测试点，当测压孔数量不多于 10 个时应全部检查；当测压孔数量多于 10 个少于 200 个时，被抽取测压孔数应不少于 10 个。
- 5.3.5 试验模型平台检验或压强感受元件及与其固连的压强传递装置检查的结果不符合 5.3.3 或 5.3.4 的要求时，应按下列要求进行：
- a) 对试验模型进行必要的调整；
 - b) 由试验任务委托方重新确定模型设计要求；
 - c) 修整或重新加工试验模型。
- 5.4 测压系统检查
- 5.4.1 检查应在试验开始前完成。检查与试验的时间间隔不应超过 30d。
- 5.4.2 检查可分阶段进行。在系统组装前，宜逐项进行单个装置或分系统检查，其中压强传递装置的抗压性检查可采取抽样检查方式，其样本应有典型性且抽样率不应小于 1%。全系统组装后，正式试验实施前，应进行系统检查和联调。
- 5.4.3 检查项目和要求应符合 4.6 的规定。
- 5.5 模型安装与姿态调整
- 模型安装应正确可靠。试验模型在风洞中安装就位后，应对模型与风洞坐标轴系的初始模型姿态进行调整。若初始模型姿态偏差值大于 $3'$ ，则在数据处理时应进行初始模型姿态修正。初始模型姿态调整完毕后，应考核模型姿态角变化范围的可实现性。
- 5.6 运转计划表编写
- 运转计划表由试验运行负责人依据试验任务书、试验大纲编写。运转计划表应包括：
- a) 序号；
 - b) 试验编号；
 - c) 模型状态；
 - d) 试验条件；

- e) 试验日期；
- f) 备注等。

试验编号宜按一定规律命名，其本身宜包含能反映风洞试验的类型和试验数据的类别等信息。同一期试验中试验编号不应重名。

5.7 模型试吹风

在模型洞内安装结束后、试验正式开始之前，应进行模型的试吹风。模型试吹风应在试验运行负责人指挥下进行。试吹风应考核模型安装的稳固性，测压系统工作的稳定性。

5.8 建立试验状态

5.8.1 按运转计划表的要求确立模型状态和试验条件。

5.8.2 试验时的实际动压与运转计划表要求动压的偏差应小于 2%。试验数据处理中应用的计算动压与实际动压的偏差应小于 0.5%。

5.9 试验过程检查

5.9.1 试验过程中应安排对试验模型和试验设备的巡查。每个试验班次应至少安排一次试验设备巡查、两次试验模型巡查。

5.9.2 试验实施的各阶段应保持模型表面质量的一致性。

5.9.3 试验实施的各阶段应保持试验设备工作正常。

5.10 试验停止

5.10.1 试验中断

5.10.1.1 试验过程中，出现以下情况之一时应中断试验：

- a) 试验模型出现结构破损或出现结构破损的征兆，不能保证试验设备安全运行；
- b) 试验设备出现故障或出现故障征兆，不能保证安全运行或试验结果可靠；
- c) 试验环境异常，不能保证试验模型或试验设备安全或正常运行。

5.10.1.2 试验过程中，出现以下情况之一时，可由试验任务委托方与试验任务承担方协商中断试验：

- a) 试验结果与预期值存在明显差异；
- b) 试验模型外形或表面特性等出现明显变化，不能保证试验结果可靠；
- c) 测试点损坏过多(大于 7%)，造成试验结果应用困难；
- d) 试验任务委托方或试验任务承担方认为有必要中断试验。

5.10.1.3 试验中断后，应根据不同情况尽快查明原因、及时处理，恢复试验状态后可继续进行试验或重新试验，也可结束试验。

5.10.2 试验结束

5.10.2.1 试验过程中，出现以下情况之一时，可由试验运行负责人宣布试验任务结束：

- a) 完成运转计划表全部试验内容及全部补充内容；
- b) 未完成全部试验，但试验任务委托方认为已达到试验目的；
- c) 试验中断，且恢复试验状态需较长时间。

5.10.2.2 试验任务结束后，试验运行负责人应及时组织试验现场的清理工作，并达到：

- a) 试验数据能安全保存和方便调用；
- b) 试验设备能妥善保存或方便使用；
- c) 试验模型能长期妥善保存或运输；
- d) 后续试验任务或其它工作能方便进行。

6 数据录取和处理

6.1 数据录取方法

6.1.1 数据录取可包括初读数采集和吹风数据采集两个阶段。

6.1.2 每一测试点的测压传感器输出量均应重复采集。其样本大小可按采集时间长度规定，也可按重复次数规定。样本的采集频率应不小于 100Hz，采集获得的数据在存储之前应进行数字优化，宜采用的数字优化方法见 GJB 4395 - 2002 中 5.4.2 的规定。

6.1.3 经优化后的采集数据称为试验原始数据。原始数据的记印录、贮存有效数位应不少于十进制的 5 位，或记印录、贮存精度优于测压传感器精度值。原始数据在记印录或贮存后，不允许修改。

6.2 结果数据形式

各测试点的压强应利用相应原始数据和测压传感器标定公式计算。在无特殊要求的情况下，测压试验结果数据以无量纲的压强系数 C_p 的形式给出。 C_p 值见公式(1)：

$$C_p = \frac{P_i - P_\infty}{q_\infty} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

P_i ——任一测试点获得的压强数据，Pa；

P_∞ ——试验模型远前方自由流体的静压，Pa；

q_∞ ——试验模型远前方自由流体的动压，Pa。

6.3 结果数据修正

试验结果数据可进行气流偏角、支架干扰、洞壁干扰升力效应及洞壁干扰阻塞效应等修正。在不能确实证明修正方法可靠时，不宜进行气流偏角、支架干扰和洞壁干扰升力效应等修正。

洞壁干扰阻塞效应修正宜采用公式(2)进行：

$$C_p = \frac{C_{pu} - 1}{(1 + \varepsilon)^2} + 1 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

C_{pu} ——未进行洞壁干扰阻塞效应修正的试验结果数据；

ε ——阻塞效应修正因子。

6.4 试验数据文件

6.4.1 每个试验数据文件有唯一的文件名，并与其对应的试验编号相关。

6.4.2 试验数据文件包括说明性信息和试验数据两部分。

a) 说明性信息可包含：试验数据处理所需要的参数数据和其它需要说明的信息，如试验风洞、试验时间、试验时的大气条件、试验动压、模型组合状态、模型姿态角、坏点剔除情况等。

b) 试验数据部分可包括：试验数据和各数据的定位信息。根据试验数据文件性质不同，试验数据可是试验原始数据或试验结果数据等。数据的定位信息可是序列号或测试点位置坐标等。试验数据部分各项数据之间应有分隔符。

6.4.3 试验数据部分宜采用二维数据表的记录形式。这种二维数据表的每一行是按规(约)定排序记录的一个试验数据和相应的定位信息。一个试验车次有 N 个测试点，试验数据部分有 N 行。

6.4.4 试验数据文件包含的具体项目和次序应符合试验任务委托方的要求。

7 试验报告

7.1 格式

低速风洞测压试验报告格式应符合 GJB 567A 的规定。特殊情况下，报告格式也可由试验任务委托方与试验任务承担方协商确定，但应包括引言、正文、结论及相关图表等内容。

7.2 引言

引言部分应包含以下内容：

a) 报告所涉及的试验任务的来源、试验任务委托方名称，承担单位及试验任务的批准部门；

b) 试验提出的技术背景，试验目的和内容；

c) 实施风洞试验的时间。

7.3 正文

7.3.1 主要内容

正文应包括：

- a) 试验设备；
- b) 模型和试验方法；
- c) 试验数据处理与修正；
- d) 试验结果说明与分析等。

7.3.2 试验设备、模型和试验方法

试验设备、模型和试验方法中应说明：

- a) 试验风洞的基本情况和性能；
- b) 试验使用的测压系统的基本情况和性能；
- c) 试验中使用的其它主要设备的基本情况和性能；
- d) 试验模型的结构、比例和主要几何参数；
- e) 测试点位置，测试点位置定义方法及位置查取方法；
- f) 试验模型平台检验的主要结果或主要结论；
- g) 模型的安装、支撑形式，模型姿态角变化方式，试验风速或动压，试验雷诺数；
- h) 其它应说明的情况。

7.3.3 试验数据处理与修正

试验数据处理与修正中应说明：

- a) 原始数据的录取方法；
- b) 试验数据的处理方法；
- c) 结果数据的定义或计算方法；
- d) 结果数据的修正项目与方法。

7.3.4 试验结果说明与分析

试验结果说明和分析宜采用文字叙述、数据表格与试验结果曲线等手段相互呼应的形式实现。试验结果说明与分析中应包括以下内容：

- a) 对试验数据的不确定度进行必要的分析；
- b) 说明试验数据的主要特征及变化规律；
- c) 对典型或特殊的试验数据产生的原因、物理意义、应用价值等方面的分析。

7.4 结论

结论应满足下列要求：

- a) 试验结论应科学、真实、可靠；
- b) 应对试验的质量控制和试验结果的可靠性加以说明；
- c) 应总结试验报告正文，以条目的形式归纳出与试验目的有关的结论；
- d) 对试验中出现的、试验前未能预见的现象和问题，以及围绕这些现象和问题的建议和分析；
- e) 对试验涉及到的选型与改型问题给出倾向性的评估意见。

7.5 模型照片、模型三面图、数据表与数据曲线图

7.5.1 一般要求

试验报告中应包括模型照片、模型三面图、数据表与数据曲线图等内容。这些内容宜集中安排在试验报告参考文献之后，并有图表目次，也可将它们单独装订成册。

7.5.2 试验结果曲线图的选择

试验结果曲线大体上可分为基本特性曲线、比较试验曲线和重复性试验曲线等。一般各曲线按测量

剖面分组，机翼、尾翼宜按沿弦向的翼型剖面分组，机身宜按横截剖面分组。宜将剖面分组情况标示在模型三面图上。

7.5.3 试验结果曲线图的绘制

试验结果曲线图的绘制应符合下列要求：

- a) 试验结果曲线图应使用 A4(210mm × 297mm)幅面的纸张绘制。
- b) 每张绘图纸上，曲线图不应多于四幅。同一期试验的曲线图宜采用同一尺寸大小的图形区。
- c) 在图形区内应布置网格线，网格线可包括毫米线、厘米线和坐标原点线；其线径宜分别为 0.25 磅、0.5 磅和 0.75 磅。
- d) 试验结果曲线的图号按“图 1-1、图 1-2、...、图 2-1、图 2-2、...”的顺序编排。模型三面图等说明性附图的图号按“图 0-1、图 0-2、...”的顺序编排。
- e) 坐标名采用规定的符号注在图形区外，横坐标名注在图形区右下角下方处；纵坐标名注在图形区左(右)上角左(右)方处。
- f) 试验结果曲线一般采用线性坐标刻度。同一期试验曲线图压强系数宜采用同一比例的坐标刻度。试验结果数据(压强系数)应用纵坐标表示，同时纵坐标宜倒置。
- g) 试验结果数据点应准确标志在图形区内。同组试验结果数据点应采用同一标志符号，数据点的点标志位于标志符号中心。同组数据点按其顺序拟合成试验曲线，形成平滑线 X - Y 散点图。
- h) 在同一曲线图中有两条或两条以上曲线时，图形区内应有图例框。图例框的大小和位置不应与试验曲线冲突。图例框内不应出现网格线。

8 技术文件的交付与归档

8.1 技术文件的交付

试验结束后，试验任务承担方应适时向试验任务委托方交付有关技术文件：

- a) 运转计划表；
- b) 风洞试验报告；
- c) 以只读光盘为载体的数据文件盘，包含有结果数据文件及包括模型照片、模型三面图、数据表与数据曲线图在内的完整的试验报告文件；
- d) 经双方协商同意应交付的其它文件。

试验任务委托方提出的在试验结束时及时得到试验结果数据文件的要求可有条件地得到满足，其条件是：所有的试验数据必须以经过批准的试验报告为准。在试验报告被批准以前对试验结果的引用为非授权引用，试验任务承担方对这一引用可能产生的负面影响不承担责任。

8.2 试验技术文件归档

试验技术文件归档应满足：

- a) 能够客观、全面地记录试验的真实情况。
- b) 试验技术文件归档应由试验任务负责人整理、填写档案序言并向规定的档案部门移交。
- c) 档案序言应至少包括以下内容：
 - 1) 试验的来源及背景；
 - 2) 承担试验任务的风洞及设备；
 - 3) 试验任务的主要参加人员；
 - 4) 试验任务运行的起止日期及其它需记载的事宜。
- d) 试验技术文件应完整归档。对于一期风洞试验，试验技术文件归档的内容应至少包括：
 - 1) 档案序言；
 - 2) 试验报告；
 - 3) 试验任务书；

- 4) 试验大纲；
 - 5) 运转计划表；
 - 6) 值班长记录；
 - 7) 值班分析日志；
 - 8) 原始数据；
 - 9) 试验结果数据；
 - 10) 试验数据处理源程序。
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 军 用 标 准
航 空 航 天 器 低 速 风 洞 测 压 试 验 方 法
GJB 5314 - 2004

*

总装备部军标出版发行部出版
(北京东外京顺路7号)
总装备部军标出版发行部印刷车间印刷
总装备部军标出版发行部发行
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 26 千字
2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷
印数 1 - 400

*

军标出字第 5927 号 定价 8.00 元