

# HB

## 中华人民共和国航空行业标准

FL 0120

HB 20530-2018

---

### 机载气动仪表冰风洞试验方法

Test method of ice wind tunnel for airborne aerodynamic sensor

2018-12-28 发布

2019-03-01 实施

---

国家国防科技工业局 发布

## 前 言

本标准由中国航空工业集团有限公司提出。

本标准由中国航空综合技术研究所归口。

本标准起草单位：武汉航空仪表有限责任公司。

本标准主要起草人：郑 莉、崔友亮、张 俊、黄 锋、郭玉东、马 民。

# 机载气动仪表冰风洞试验方法

## 1 范围

本标准规定了机载气动仪表冰风洞试验一般要求、试验方法以及试验结果的分析 and 评定等内容。  
本标准适用于机载气动仪表的冰风洞试验。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包含勘误的内容)或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GJB 150.1A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第1部分：通用要求  
CCAR—25—R4 中国民用航空规章 第25部 运输类飞机适航标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**机载气动仪表** **airborne aerodynamic sensor**

有暴露在飞机机体表面或外部的受感部分，并具有传递大气数据或发出结冰信号功能的传/受感器。  
注：主要包括攻角传感器、总静压传感器、大气总温传感器及结冰探测器等四类。

### 3.2

**液态水含量** **liquid water content**

**LWC**

单位体积空气内所含的液态水的质量。

注：单位为克每立方米(g/m<sup>3</sup>)。

### 3.3

**平均容积直径** **median volume diameter**

**MVD**

所有小于这个直径的全部云雾粒子所构成的液态水含量与所有大于这个直径的全部云雾粒子所构成的液态水含量相等的云雾粒子直径值。

注：单位为微米(μm)。

### 3.4

**结冰速率** **icing rate**

单位时间内试验样品迎风面所形成的冰层的厚度。

注：单位为毫米每分钟(mm/min)。

## 4 一般要求

### 4.1 试验目的

本试验的目的为在模拟实际使用环境的条件下，对机载气动仪表的除冰防冰性能，或结冰探测性能进行考核。

冰风洞试验段气流速度、静温、液态水含量、云雾粒子平均容积直径等参数应能完全覆盖试验样品的试验条件。试验段的截面积和长度应能满足要求，一般试验样品的迎风面阻塞度应小于10%。

#### 4.2 试验大纲

冰风洞试验大纲应包括试验目的、试验项目、试验设备、试验样品及安装方式、数据采集、试验条件、试验步骤、试验安全及质量保证、合格判据，以及试验报告的要求等条款，详细说明试验的各项要求及具体操作方法。

#### 4.3 试验系统

##### 4.3.1 冰风洞

4.3.1.1 冰风洞应能够监控温度、压力、速度等试验参数，配备有测量液态水含量、平均容积直径及结冰厚度的仪器设备，以及监测试验情况的摄像设备。冰风洞所用专用测试设备应定期校验，所有传感器、仪器仪表均需通过相应等级的计量检定，保证在检定有效期内。

4.3.1.2 每年应至少进行 1 次冰风洞参数校测，主要包括：试验段风速、静温、液态水含量、平均容积直径及试验段的云雾均匀度等参数。

4.3.1.3 试验前应对冰风洞及其配套设备进行检查，确认各设备完好，各分系统运行状态正常。

4.3.1.4 所有设备应编制有相应的操作规程，并放置于设备操作现场，试验人员应持相应上岗证。

##### 4.3.2 试验样品

试验样品应安装在冰风洞试验段内气流稳定处，并应尽可能地模拟实际使用状态。安装不应妨碍试验样品及冰风洞的正常工作，且不能对冰风洞造成安全隐患。同时应保证冰风洞洞体的密封，安装孔、穿线孔等处不应漏气。

试验样品安装固定用专用安装板应根据试验样品形状及试验时的攻角等要求专门设计，并应充分考虑热传递的影响。试验前需对安装板进行专门检查及确认。

##### 4.3.3 测试设备

###### 4.3.3.1 试验所需测试设备

试验所需测试设备通常如下：

- a) 单相中频逆变电源；
- b) 数字多用表；
- c) 直流稳压电源；
- d) 函数信号发生器；
- e) 示波器；
- f) 数字相位计；
- g) 被试样品专用测试设备；
- h) 游标卡尺；
- i) 计时设备。

###### 4.3.3.2 测试设备的要求

试验用测试设备检测精度应能满足试验样品试验过程中的测试要求，并应在合格检定期内。

### 5 详细要求

#### 5.1 试验项目

除另有规定外，各类试验样品应进行的冰风洞试验项目按表 1 规定。

表 1 试验项目表

序号	试验项目	试验样品名称			
		攻角传感器	总静压传感器	大气总温传感器	结冰探测器
1	除冰试验	●	●	●	—
2	防冰试验	●	●	●	○

表 1(续)

序号	试验项目	试验样品名称			
		攻角传感器	总静压受感器	大气总温传感器	结冰探测器
3	灵敏限试验	—	—	—	●
4	连续除冰试验	—	—	—	●
5	结冰速率试验	—	—	—	○

注：●表示必做项目；○表示视情况而定项目；—表示不检项目。

表中试验项目说明如下：

- a) 除冰试验：在给定的试验条件下喷雾，使试验样品结冰，至试验样品受感部分前端迎风面上形成规定厚度的覆盖冰层。接通试验样品加热电源进行除冰，监测在规定的时间内试验样品的除冰效果，考查除冰时间、加热除冰电流(或功率)及除冰效果是否满足要求。
- b) 防冰试验：在给定的试验条件下喷雾，同时接通试验样品加热电源，观察在规定时间内试验样品的结冰及输出信号情况，监测表面是否有影响性能的积冰形成，考查试验样品的防冰性能。
- c) 灵敏限试验：在给定的试验条件下喷雾，让试验样品结冰直至给出告警信号，测量告警时试验样品受感部分的结冰厚度，考查此时的结冰厚度是否满足产品规范中灵敏限的要求。
- d) 连续除冰试验：在给定的试验条件下喷雾，对试验样品进行持续一段时间的连续除冰试验，观察试验样品“结冰—除冰—又结冰—又除冰”的循环过程，监测试验样品除冰情况及加热除冰电流，考查试验样品在循环过程中的除冰时间、除冰效果及加热电流(或功率)是否满足产品规范要求。
- e) 结冰速率试验：本试验仅适用于具备结冰速率测量功能的结冰探测器。在给定的试验条件下喷雾，监测试验样品输出信息，考核试验样品输出的结冰速率值或者结冰强度等级信号(“微量结冰”、“轻度结冰”、“中度结冰”及“严重结冰”)是否与实测结冰速率值对应。结冰强度等级划分见表 2。

表 2 飞机结冰强度等级

结冰等级	结冰速率值 mm/min
微量结冰	<0.6
轻度结冰	0.6~1.0
中度结冰	1.1~2.0
严重结冰	>2.0

## 5.2 试验条件

### 5.2.1 试验条件说明

本标准主要规定冰风洞试验的静温、液态水含量及平均容积直径等试验条件。试验风速、模拟高度及攻角等参数由试验对象的实际飞行条件决定，可依据相关产品规范，在试验大纲中给出明确规定。

### 5.2.2 攻角传感器试验条件

除另有规定外，攻角传感器试验条件如下：

- a) 试验段静温： $-30^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 液态水含量： $1.5\text{g}/\text{m}^3 \pm 0.25\text{g}/\text{m}^3$ ；
- c) 平均容积直径： $15\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$ 。

### 5.2.3 大气总温传感器试验条件

除另有规定外，大气总温传感器的试验条件如下：

- a) 试验段静温：-25℃~-35℃；
- b) 液态水含量：1.0g/m<sup>3</sup>~1.5g/m<sup>3</sup>；
- c) 平均容积直径：15μm~40μm。

5.2.4 总静压受感器试验条件

应按照 CCAR-25-R4 附录 C 的间断最大结冰条件确定总静压受感器试验条件，试验时试验样品加热电压应低于额定电压的 10%。除另有规定外，总静压受感器应进行以下三组试验条件的试验：

- a) 试验条件一：
  - 1) 试验段静温：-10℃±2℃；
  - 2) 液态水含量：2.2g/m<sup>3</sup>±0.45g/m<sup>3</sup>；
  - 3) 平均容积直径：20μm±5μm。
- b) 试验条件二：
  - 1) 试验段静温：-20℃±2℃；
  - 2) 液态水含量：1.7g/m<sup>3</sup>±0.35g/m<sup>3</sup>；
  - 3) 平均容积直径：20μm±5μm。
- c) 试验条件三：
  - 1) 试验段静温：-30℃±2℃；
  - 2) 液态水含量：1.0g/m<sup>3</sup>±0.25g/m<sup>3</sup>；
  - 3) 平均容积直径：20μm±5μm。

5.2.5 结冰探测器试验条件

应按照 CCAR-25-R4 附录 C 的大气结冰条件确定结冰探测器试验条件。除另有规定外，试验条件可从表 3 中选取。

表 3 结冰探测器冰风洞试验条件

最大连续结冰条件			最大间断结冰条件		
MVD μm	静温 ℃	LWC g/m <sup>3</sup>	MVD μm	静温 ℃	LWC g/m <sup>3</sup>
15	0	0.80	15	0	2.93
	-10	0.60		-10	2.50
	-20	0.30		-20	1.93
	-30	0.20		-30	1.10
25	0	0.50	25	0	1.75
	-10	0.30		-10	1.45
	-20	0.15		-20	1.13
	-30	0.10		-30	0.70
40	0	0.15	40	0	0.75
	-10	0.10		-10	0.50
	-20	0.06		-20	0.35
	-30	0.04		-30	0.25
—	—	—	50	0	0.40
				-10	0.30
				-20	0.20
				-30	0.10

### 5.3 试验程序

#### 5.3.1 试验前准备状态检查

确定试验样品的数量及技术状态，对试验用的安装夹具、检测量具、测试设备、试验设备等逐一进行检查确认，使其保持良好的待用状态；对参试人员进行必要的培训，并作合理的分工安排等。

#### 5.3.2 喷雾参数标定

开启冰风洞各系统设备，进行预冷。在要求的试验段风速、静温条件下调节喷雾参数，使液态水含量及平均容积直径满足试验要求，记录对应的喷雾水气压力、温度等参数。

#### 5.3.3 预处理

将试验样品受感部分的外表面清洗干净，必要时对试验样品壳体表面进行密封防水处理。

#### 5.3.4 试验样品的安装

将试验样品按要求安装到冰风洞试验段的专用安装板上。按要求连接好相关电路以及测试用设备仪器仪表，并通电检测系统工作是否正常。

非一体化的结冰探测器通常由结冰传感器与防冰控制器(或解算器等电子部件)两部分组成，结冰传感器安装在冰风洞内的专用安装板上，电子部件置于风洞外。一体化的结冰探测器传感器与控制器为一体结构，直接安装于冰风洞试验段的专用安装板上。

#### 5.3.5 试验样品初始检测

启动冰风洞动力系统，对在冰风洞内安装完成的试验样品吹风，稳定至少 1min 后，记录此时试验样品的输出参数。

#### 5.3.6 试验

##### 5.3.6.1 除冰试验

按以下步骤进行试验样品除冰试验：

- a) 调整冰风洞试验段风速及静温达到规定要求，接通试验样品工作电源，按设定的喷雾参数进行喷雾，使试验样品结冰，直至试验样品前缘迎风面上形成产品规范规定厚度的覆盖冰层；
- b) 保持原有风速及静温条件，接通试验样品加热电源，观察并视频记录冰层融化脱落的情况，同时记录除冰时间；
- c) 监测并记录试验样品在试验中的加热电流(或功率)，及试验样品的输出信号情况。

##### 5.3.6.2 防冰试验

按以下步骤进行试验样品防冰试验：

- a) 调整冰风洞试验段风速及静温达到规定要求，接通试验样品工作电源和加热电源，按设定的喷雾参数进行喷雾；
- b) 观察并视频记录试验样品在产品规范规定的防冰时间内的积冰情况，监测是否有影响试验样品性能的积冰形成；
- c) 连续记录试验时间和相应的加热电流(或功率)，同时记录试验样品的输出信号情况。

##### 5.3.6.3 灵敏限试验

按以下步骤进行试验样品灵敏限试验：

- a) 调整冰风洞试验段风速及静温达到规定要求，接通试验样品工作电源，按设定的喷雾参数进行喷雾，使试验样品结冰，直至试验样品发出告警信号；
- b) 给出结冰告警信号时，关闭喷雾，关闭制冷系统和动力系统；
- c) 测量和记录此时试验样品上的结冰厚度，此结冰厚度即为灵敏限。

##### 5.3.6.4 连续除冰试验

按以下步骤进行试验样品连续除冰试验：

- a) 调整冰风洞试验段风速及静温达到规定要求，接通试验样品工作电源和加热电源，按设定的喷雾参数进行喷雾；

- b) 观察试验样品“结冰—除冰—又结冰—又除冰”的循环过程，监测并视频记录试验样品工作状态及受感部分的冰堆积情况；
- c) 监测和记录试验样品的输出信号变化过程，并记录试验样品除冰时间和加热电流(或功率)。

#### 5.3.6.5 结冰速率试验

按以下步骤进行试验样品结冰速率试验：

- a) 调整冰风洞试验段风速及静温达到规定要求，接通试验样品工作电源，按设定的喷雾参数进行喷雾，并开始计时。
- b) 在喷雾过程中持续观察试验样品输出信号，当给出结冰速率信号时结束计时，关闭喷雾。测量和记录试验样品受感部分的结冰厚度，计算相应的结冰速率值。
- c) 考查计算的结冰速率值与试验样品输出的结冰速率信号是否对应。
- d) 调节试验参数，分别在冰风洞中形成不同结冰强度的试验条件，按步骤 a)~c) 分别进行试验。

#### 5.3.7 试验样品恢复及最后检测

试验结束后，将试验样品从风洞中取出，擦干外表面，在试验室内恢复到常温状态。按相关技术文件规定进行电性能、机械性能等测试，并检查试验样品加热部分的外表面有无变色或烧伤等。

#### 5.3.8 试验中断处理

除冰试验、灵敏限试验、结冰速率试验、连续除冰试验当出现试验中断时，试验应重新进行。

防冰试验当试验过程中出现中断时，若无其他规定，欠条件中断按 GJB 150.1A—2009 中 3.6.2 的规定处理；过条件中断按 GJB 150.1A—2009 中 3.6.3 的规定处理。如单次试验过程中中断次数超过一次，该试验应重新进行。

### 5.4 试验结果的分析与评定

#### 5.4.1 试验数据检测与记录

试验记录应包括全部试验设备及仪器仪表的标定检查结果、试验时的大气条件、试验时记录的试验条件、冰风洞主要参数、试验样品的性能检测数据，以及试验过程中的试验照片、试验录像等。

#### 5.4.2 试验重复性

为保证试验结果的可靠性，通常应进行三次重复性试验。

#### 5.4.3 试验结果的有效性

当发生下列任何一种情况时，则认为试验结果无效：

- a) 冰风洞试验条件不符合试验大纲规定的要求；
- b) 冰风洞参数出现异常，导致无法判定试验条件是否满足要求；
- c) 试验样品输出数据出现异常。

#### 5.4.4 试验结果判定

将试验结果与试验大纲、产品规范或其他相关技术文件中规定的要求进行对比，根据符合性来判定试验样品是否合格。

### 5.5 试验报告

试验报告应包含如下内容：

- a) 试验目的：按要求填写本次试验的试验目的，应与试验大纲中的内容一致；
- b) 试验内容：按要求填写本次试验的各个试验项目，应与试验大纲中的内容一致；
- c) 检测用设备和仪器仪表：填写试验过程中所用的全部检测设备、仪器、仪表以及该设备的精度等级、合格检定期等；
- d) 试验要求：填写冰风洞试验时对试验段风速、试验段静温、试验段液态水含量和平均容积直径等四项指标的要求，有试验攻角要求的还包括攻角；
- e) 试验步骤：记录试验样品从安装到试验结束的各个步骤，以及各阶段的详细情况，如试验环境冷却、风速调整、喷雾参数调整和开机、关机程序等；

- f) 试验条件：真实记录试验过程中冰风洞试验段风速、冰风洞试验段静温、冰风洞液态水含量和平均容积直径等四项试验条件；
  - g) 试验样品测试结果：试验样品测试结果(包括试验样品性能检测参数、现场记录及摄像记录等)应详细真实记录于原始数据记录表内；
  - h) 试验结果分析：对试验记录、试验现象、试验样品测试结果等进行分析；
  - i) 结论：根据对试验记录、试验现象、试验样品测试结果等进行分析，给出试验结果是否有效及试验样品是否合格等结论；
  - j) 主要参加试验人员、试验地点、试验时间：真实记录试验地点、试验时间及试验人员等，主要参加试验人员应签署，不可代签。
-

中华人民共和国航空行业标准  
机载气动仪表冰风洞试验方法

HB 20530—2018

\*

中国航空综合技术研究所出版  
(北京东外京顺路7号)  
中国航空综合技术研究所印刷车间印刷  
北京1665信箱发行  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 21 千字  
2019年2月第一版 2019年2月第一次印刷

\*

书号: 标 301.3543 定价 20.00 元