



中华人民共和国国家军用标准

FL 0116

GJB 1179A-2012

代替 GJB 1179-1991

低速风洞和高速风洞流场品质要求

Requirement for flow quality of low and high speed wind tunnels

2012-12-27 发布

2013-04-01 实施

中国人民解放军总装备部 批准

目 次

前言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义、符号	1
4 流场校测内容和流场品质要求	2
4.1 低速风洞	2
4.2 高速风洞	4
5 流场校测方法和数据处理	6
5.1 低速风洞流场校测方法和数据处理	6
5.2 高速风洞流场校测方法和数据处理	8
6 流场校测基本要求	11
6.1 校测周期	11
6.2 气流湿度	11
6.3 流场校测时机	11
附录 A (资料性附录) 20°锥柱体压力分布无干扰数据($\alpha=0^\circ$)	13

前 言

本标准代替 GJB 1179—1991《高速风洞和低速风洞流场品质规范》。

本标准与 GJB 1179—1991 相比主要有如下变化：

- a) 标准名称由《高速风洞和低速风洞流场品质规范》更改为《低速风洞和高速风洞流场品质要求》；
- b) 修订了低速风洞流场动压场系数和方向场局部流向角满足指标的区域要求；
- c) 修订了亚跨声速风洞马赫数最大波动量和亚跨声速风洞轴向探测管尺寸要求；
- d) 增加了特种低速风洞流场品质指标要求；
- e) 增加了高速风洞流场马赫数梯度指标要求。

本标准附录 A 是资料性附录。

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：中国人民解放军第二十九试验训练基地。

本标准主要起草人：林学尔、胡向鹏、王 辉、熊 波、巫朝君、王瑞波。

本标准于 1991 年 10 月 18 日首次发布。

低速风洞和高速风洞流场品质要求

1 范围

本标准规定了低速风洞和高速风洞流场品质指标、流场校测的内容和方法。
本标准适用于以航空、航天飞行器试验为主要任务的低速风洞和高速风洞。

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(不包含勘误的内容)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。凡不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GJB 4296 风洞试验术语和符号

3 术语和定义、符号

GJB 4296 确立的术语和定义、符号以及表 1 列出的符号及说明适用于本标准。

表 1 符号及说明

符号	说明	单位
A	风洞试验段横截面积	m^2
C_L	升力系数	—
C_p	压力系数	—
C_{prms}	气流脉动压力系数	—
C_q	动压系数	—
C_{qi}	第 i 点动压场系数	—
C_Y	侧向力系数	—
D	模型直径	m
dC_p/dx	轴向静压梯度	$1/\text{m}$
dM/dx	轴向马赫数梯度	$1/\text{m}$
e	边界层外缘条件	—
L	模型区长度	m
M	马赫数	—
M_{ref}	参考点马赫数	—
M_∞	来流马赫数	—
$\overline{M}$	平均马赫数	—
P	静压	Pa
p_0	总压	Pa
p_0'	波后总压	Pa
$\overline{p_0}$	平均总压	Pa

表 1 (续)

符号	说明	单位
p_{ref}	参考点静压	Pa
p_{rms}	噪声声压均方根偏差	Pa
q	动压	Pa
$\bar{q}$	模型区内各测点动压平均值	Pa
SPL	声压级	dB
u	风速	m/s
x	轴向距离	m
α	迎角	(°)
α_{0U}	模型正装时零升迎角	(°)
α_{0D}	模型反装时零升迎角	(°)
β	侧滑角	(°)
δ	边界层厚度	m
δ^*	边界层位移厚度	m
ε	湍流度	—
η	动压稳定性系数	—
ρ	密度	kg/m ³
σ_M	马赫数分布均方根偏差	—
σ_q	动压均方根偏差	—
σ_ζ	动压修正系数均方根偏差	—
ζ	标准风速管校准系数	—
ζ	参考点动压修正系数	—
ΔC_p	方向仪测压点压差系数	—
ΔC_{p_u}	探头上、下测点压差系数	—
ΔC_{p_p}	探头左、右测点压差系数	—
ΔM	马赫数分布偏差	—
$\Delta M_{\text{ref,max}}$	参考点马赫数最大波动量	—
$\Delta p_{0\text{max}}$	总压最大偏差	Pa
$\Delta\alpha$	铅垂面内的局部流向角	(°)
$\overline{\Delta\alpha}$	铅垂面内的平均气流偏角	(°)
$\Delta\beta$	水平面内的局部流向角	(°)
$\overline{\Delta\beta}$	水平面内的平均气流偏角	(°)
$\Delta\zeta$	动压修正系数偏差	—

4 流场校测内容和流场品质要求

4.1 低速风洞

4.1.1 低速风洞流场校测内容

低速风洞流场校测项目和内容见表 2。

表 2 低速风洞流场校测项目和内容

校测项目	校测内容和测量参数
动压或风速	参考点动压修正系数(落差系数)
	动压场
方向场	局部流向角
	平均气流偏角
轴向静压梯度	轴向静压梯度
气流温度	气流温度及温升
湍流度	模型区中心处湍流度
	模型区湍流度分布
动压稳定性	动压稳定性
气流噪声	气流噪声

4.1.2 低速风洞流场品质指标及要求

低速风洞流场品质指标及要求见表 3。

表 3 低速风洞流场品质指标及要求

校测项目和内容		指标及要求			
动压或风速	参考点动压修正系数(落差系数)	$\sigma_z \leq 0.002$			
	动压场	常规风洞/结冰风洞/声学风洞		立式风洞	
		合格指标: 模型区内 $ \mu_1 \leq 0.5\%$ 的区域达到 75%		合格指标: 模型区内 $ \mu_1 \leq 0.8\%$ 的区域达到 75%	
		先进指标: 模型区内 $ \mu_1 \leq 0.2\%$ 的区域达到 75%		先进指标: 模型区内 $ \mu_1 \leq 0.3\%$ 的区域达到 75%	
方向场	局部流向角	常规风洞		立式风洞	
		合格指标: 模型区内 $ \Delta\alpha_1 \leq 0.5^\circ$, $ \Delta\beta_1 \leq 0.5^\circ$ 的区域达到 75%		合格指标: 模型区内 $ \Delta\alpha_1 \leq 0.8^\circ$, $ \Delta\beta_1 \leq 0.8^\circ$ 的区域达到 75%	
		先进指标: 模型区内 $ \Delta\alpha_1 \leq 0.1^\circ$, $ \Delta\beta_1 \leq 0.1^\circ$ 的区域达到 75%		先进指标: 模型区内 $ \Delta\alpha_1 \leq 0.3^\circ$, $ \Delta\beta_1 \leq 0.3^\circ$ 的区域达到 75%	
	平均气流偏角	常规风洞		立式风洞	
		$ \Delta\alpha \leq 0.2^\circ$, $ \Delta\beta \leq 0.2^\circ$			
轴向静压梯度		$L \times \left \frac{dC_p}{dx} \right \leq 0.005$			
气流温度		常用动压下, 气流温升每小时不超过 15℃, 最高不超过 45℃			
湍流度	模型区中心处湍流度	常规风洞	结冰风洞	声学风洞	立式风洞
		$\varepsilon \leq 0.2\%$	$\varepsilon \leq 0.5\%$	$\varepsilon \leq 0.1\%$	$\varepsilon \leq 0.5\%$
	模型区湍流度分布	给出模型区湍流度分布			

表 3(续)

校测项目和内容		指标及要求	
动压稳定性		常规风洞/结冰风洞/声学风洞	立式风洞
		合格指标: $\eta \leq 0.005$	合格指标: $\eta \leq 0.008$
		先进指标: $\eta \leq 0.002$	先进指标: $\eta \leq 0.003$
气流噪声	背景噪声	常规风洞/结冰风洞/立式风洞	声学风洞
		—	$\leq 80\text{dB}$
	中心气流噪声	给出模型区中心气流噪声随试验段动压的变化曲线及频谱曲线	
注 1: 低速风洞试验段气流速度低于最大速度的 30%时, 流场品质可不按本标准要求。			
注 2: 模型区的选取: 闭口试验段取试验段高度、宽度和长度的 75%, 开口试验段取试验段高度、宽度和长度的 70%。			
注 3: 结冰风洞是指未注水时的情况。			

4.2 高速风洞

4.2.1 亚跨声速风洞流场校测内容

亚跨声速风洞流场校测项目和内容见表 4。

表 4 亚跨声速风洞流场校测项目和内容

校测项目	校测内容和测量参数
速度场	模型区核心流马赫数分布均方根偏差
	模型区马赫数分布
	模型区轴向马赫数梯度
	参考点马赫数
方向场	局部流向角
	平均气流偏角
通气壁板消波特性	通气壁板消波特性
洞壁边界层	洞壁边界层厚度、位移厚度及速度分布
气流噪声	气流噪声声压、气流脉动压力
气流湍流度	气流湍流度
气流不稳定性	马赫数波动量

4.2.2 亚跨声速风洞流场品质指标及要求

亚跨声速风洞流场品质指标及要求见表 5。

表 5 亚跨声速风洞流场品质指标及要求

校测项目和内容		指标及要求			
速度场	模型区核心流马赫数分布均方根偏差	M 数	$0.3 \leq M \leq 0.9$	$0.9 < M \leq 1.2$	$1.2 < M \leq 1.4$
		合格	0.005	0.010	0.011
		先进	0.002	0.005	0.006
	模型区马赫数分布	给出马赫数偏差 $ \Delta M $ 大于 $2\sigma_M$ (σ_M 为合格指标) 的测点数及其占总测点数的百分比, 并给出马赫数最大偏差 $ \Delta M _{\max}$ 量值			

表 5(续)

校测项目和内容		指标及要求
速度场	模型区轴向马赫数梯度	绘制 $M \sim x$ 曲线, 模型区轴向马赫数梯度应达到: $\left \frac{dM}{dx} \right \leq \begin{cases} 0.01 & M < 1.0 \\ 0.02 & 1.0 \leq M \leq 1.4 \end{cases}$ 为合格 $\left \frac{dM}{dx} \right \leq \begin{cases} 0.006 & M < 1.0 \\ 0.01 & 1.0 \leq M \leq 1.4 \end{cases}$ 为先进
	参考点马赫数	给出模型区平均马赫数与参考点马赫数 M_{ref} 的关系, 即给出 $\overline{M} \sim M_{ref}$ 曲线或 $(\overline{M} - M_{ref}) \sim M_{ref}$ 曲线
方向场	局部流向角*	给出试验段模型区局部流向角分布图
	平均气流偏角	$ \Delta \bar{\alpha} \leq 0.3^\circ, \Delta \bar{\beta} \leq 0.3^\circ$
通气壁板消波特性		给出 20° 锥柱体模型表面压力分布 $p/p_0 \sim x/D$ 曲线, 并与无干扰曲线比较, 为模型试验提供参考。无干扰数据参见附录 A
洞壁边界层		给出模型区至少两个典型位置的壁面边界层厚度、位移厚度及速度分布
气流噪声		给出试验段洞壁及 10° 锥模型表面的气流噪声声压级 SPL 和气流脉动压力系数 C_{prms} 以及噪声频谱图
气流湍流度*		给出试验段气流的湍流度及其频谱
气流不稳定性		要求试验段参考点马赫数最大波动量达到: 合格指标: $ \Delta M_{ref} _{max} \leq 0.004$, 先进指标: $ \Delta M_{ref} _{max} \leq 0.001$; 并给出参考点马赫数 M_{ref} 随时间变化曲线
注 1: 模型区长度不小于 $\sqrt{A}$, 宽度和高度分别不小于试验段宽度和高度的 $2/3$ 。		
注 2: *为非必测项目。		

4.2.3 超声速风洞流场校测内容

超声速风洞流场校测项目和内容见表 6。

表 6 超声速风洞流场校测项目和内容

校测项目	校测内容和测量参数
速度场	模型区马赫数分布均方根偏差
	模型区马赫数分布
	模型区轴向马赫数梯度
方向场	局部流向角
	平均气流偏角
洞壁边界层	洞壁边界层厚度、位移厚度及速度分布
气流噪声	气流噪声声压、气流脉动压力
气流不稳定性	总压波动量

4.2.4 超声速风洞流场品质指标及要求

超声速风洞流场品质指标及要求见表 7。

表 7 超声速风洞流场品质指标及要求

校测项目和内容		指标及要求					
速度场	模型区马赫数分布均方根偏差	M	$1.4 < M \leq 1.5$	1.75	2.0	2.25	2.5
		合格	0.011	0.013	0.014	0.015	0.016
		先进	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008
		M	3.0	3.5	4.0	4.5	——
		合格	0.018	0.020	0.022	0.024	——
		先进	0.009	0.010	0.011	0.012	——
	模型区马赫数分布	给出马赫数偏差 $ \Delta M $ 入于 $2\sigma_M$ (σ_M 为合格指标)的测点数及其占总测点数的百分比,并给出马赫数最大偏差 $ \Delta M _{\max}$ 量值					
模型区轴向马赫数梯度	绘制 $M \sim x$ 曲线,模型区轴向马赫数梯度应达到: $\left \frac{dM}{dx} \right \leq 0.035$ 为合格 $\left \frac{dM}{dx} \right \leq 0.018$ 为先进						
方向场	局部流向角*	给出试验段模型区局部流向角分布图					
	平均气流偏角	$ \Delta \bar{\alpha} \leq 0.3^\circ, \Delta \bar{\beta} \leq 0.3^\circ$					
洞壁边界层		给出模型区至少两个典型位置的壁面边界层厚度、位移厚度及速度分布					
气流噪声		给出试验段洞壁及 10° 锥模型表面的气流噪声声压级 SPL 和气流脉动压力系数 C_{prms} 以及噪声频谱图					
气流不稳定性		稳定段总压最大波动量达到:合格指标: $ \Delta p_0 _{\max}/p_0 \leq 0.3\%$,先进指标: $ \Delta p_0 _{\max}/p_0 \leq 0.1\%$;并给出稳定段总压 p_0 随时间变化的曲线					
注1:模型区长度不小于 $\sqrt{A}$,宽度和高度分别不小于试验段宽度和高度的2/3。							
注2:*为非必测项目。							

5 流场校测方法和数据处理

5.1 低速风洞流场校测方法和数据处理

5.1.1 动压或风速测量

5.1.1.1 参考点动压修正系数

在风洞运行动压范围内, 在动压测点(或参考点)处测量参考点动压修正系数(落差系数), 绘制修正系数随试验段动压变化曲线。要求在任一动压下重复测量不小于六次。使用 A、B 两台测量精度达到 0.5Pa 的精密压力计或压力传感器分别与模型区中心的标准风速管和试验段入口的参考点相连, 同时测量出两处的动压值。将 A、B 两台压力计或压力传感器对换重复上述测量。参考点动压修正系数 ζ , 按公式(1)计算:

$$\zeta = \xi \sqrt{\frac{\Delta p_{1A}}{\Delta p_{2B}} \cdot \frac{\Delta p_{1B}}{\Delta p_{2A}}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- ξ ——标准风速管校正系数;
- Δp_{1A} ——采用 A 精密压力计或压力传感器测得的模型区中心动压值, Pa;
- Δp_{1B} ——采用 B 精密压力计或压力传感器测得的模型区中心动压值, Pa;
- Δp_{2A} ——采用 A 精密压力计或压力传感器测得的参考点动压值, Pa;
- Δp_{2B} ——采用 B 精密压力计或压力传感器测得的参考点动压值, Pa。

在运行动压范围内,选 9~13 个动压值进行上述测量。动压修正系数的均方根偏差 σ_{ζ} ,按公式(2)~公式(4)计算:

$$\bar{\zeta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \zeta_i \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta\zeta_i = \zeta_i - \bar{\zeta} \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_{\zeta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta\zeta_i)^2} \dots\dots\dots (4)$$

5.1.1.2 动压场

用动压探头、方向动压组合探头或其他仪器测量试验段各横截面的动压分布,测量截面不少于五个(在模型区内不少于三个),截面上的测量点间距不大于 $\sqrt{A}/15$,测点范围应大于模型区。对通过模型区中心的截面,要在常用动压、最大动压以及最小动压下进行测量;其他截面只在常用动压下进行测量。

模型区内动压平均值, $\bar{q}$ 可按公式(5)计算:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \dots\dots\dots (5)$$

式中:

q_i ——第 i 点动压, Pa;

n ——模型区内动压测量点数。

第 i 点动压场系数, C_{qi} 按公式(6)计算:

$$C_{qi} = \frac{q_i - \bar{q}}{\bar{q}} \dots\dots\dots (6)$$

按公式(5)~公式(6)计算出动压场系数,并绘制各截面动压场系数分布图。

5.1.2 方向场测量

5.1.2.1 局部流向角

用方向探头、方向动压组合探头等测量试验段局部流向角,测量截面不少于五个(在模型区内不少于三个),截面上的测量点间距不大于 $\sqrt{A}/15$,测点范围应大于模型区。绘制局部流向角分布图。

5.1.2.2 平均气流偏角

用相对于纵向平面左右对称的校验模型(如带水平翼,其展长不小于试验段宽度的百分之四十)正、反装在 $\beta=0^\circ$, $-2^\circ \leq \alpha \leq 2^\circ$ 的条件下获得 $C_L \sim \alpha$ 曲线(采用风洞坐标系, C_L 和 α 均以向上为正)。该校验模型的平均气流偏角 $\overline{\Delta\alpha}$ 按公式(7)计算:

$$\overline{\Delta\alpha} = -\frac{1}{2}(\alpha_{0U} + \alpha_{0D}) \dots\dots\dots (7)$$

式中:

α_{0U} ——模型正装时的零升力迎角;

α_{0D} ——模型反装时的零升力迎角。

同理,在 $\alpha=0^\circ$, $-2^\circ \leq \beta \leq 2^\circ$ 的条件下,用校验模型正、反装试验获得的 $C_Y \sim \beta$ 曲线求出 $\overline{\Delta\beta}$ 。

5.1.3 轴向静压梯度测量

用轴向探测管、移测装置等测量沿试验段中心线的轴向静压分布,测点间距不大于试验段长度的 5%。测量参考点静压 p_{ref} ,测点静压系数 C_p 按公式(8)计算:

$$C_p = \frac{(p - p_{\text{ref}})\zeta}{q} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

ζ ——探测管各静压孔或单管的修正系数;

q ——试验段参考点动压, Pa。

绘制 $C_p \sim x$ 曲线。模型区(或其中某一段)的轴向静压梯度 $\frac{dC_p}{dx}$ 按公式(9)计算:

$$\frac{dC_p}{dx} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i C_{p_i} - \sum_{i=1}^n C_{p_i} \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

n ——测量点数;

x_i ——第 i 测点距试验段入口的距离, m;

C_{p_i} ——第 i 测点的压力系数。

5.1.4 气流温度测量

用测量精度达到 0.5°C 的温度传感器测量模型区中心的温度, 绘制温度随时间变化的曲线。给出最大可用动压及常用动压下模型区中心的每小时温升和最高温度。

5.1.5 湍流度测量

用湍流球、热线风速仪、激光测速仪等测定试验段气流的湍流度, 给出模型区的湍流度分布。

5.1.6 动压稳定性测量

在风洞运行动压范围内, 在一分钟内连续测量模型区中心的动压值, 测量次数不少于 120 次, 给出模型区中心的动压随时间变化的曲线, 动压稳定性系数 η 按公式(10)计算:

$$\eta = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\max} + q_{\min}} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$q_{\max}$ ——被测时间内最大动压, Pa;

$q_{\min}$ ——被测时间内最小动压, Pa。

5.1.7 气流噪声测量

5.1.7.1 模型区中心气流噪声

用测量精度达到 0.5dB 的麦克风、声级计、频谱分析仪等测量模型区中心的噪声。

5.1.7.2 背景噪声

在风洞运行动压范围内, 用测量精度达到 0.5dB 的麦克风、声级计、频谱分析仪等测量背景噪声。

沿平行于试验段中心线进行测量, 测点间距小于试验段长度的百分之五。测量点距消声室壁面的距离不小于 $\lambda/4$, 同时距试验段中心轴线的距离大于 2λ 。其中, 波长 λ 按公式(11)计算:

$$\lambda = \frac{a}{f_{\text{截止}}} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

a ——声速, m/s;

$f_{\text{截止}}$ ——截止频率, Hz。

5.2 高速风洞流场校测方法和数据处理

5.2.1 亚跨声速风洞流场校测方法和数据处理

5.2.1.1 速度场测量

亚跨声速核心流马赫数校测用轴向探测管测量试验段中心轴线上的静压分布, 根据此静压测值与稳定段总压测值计算试验段中心线上的马赫数。

轴向探测管为锥柱形, 头部圆锥应延伸到收缩段, 在试验段的堵塞度不大于 0.5% 。柱段开若干测压孔, 第一个测压孔距肩部距离 $L_0 \geq 10d$ (d 为探测管柱段直径), 以免受头部扰动的影响。测压孔间距不大于 $\sqrt{A}/15$ 。测压孔直径为 $0.5\text{mm} \sim 0.8\text{mm}$ 。

5.2.1.1.1 试验段核心流马赫数分布均方根偏差

以稳定段总压作为试验段总压 p_0 , 根据总压 p_0 和轴向探测管(或侧壁、驻室)测点的静压 p , 测点马赫数 M 按公式(12)计算:

$$M = \sqrt{5 \left[\left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{2}{7}} - 1 \right]} \dots\dots\dots (12)$$

模型区平均马赫数 $\bar{M}$ 按公式(13)计算:

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \dots\dots\dots (13)$$

马赫数偏差 ΔM_i 按公式(14)计算:

$$\Delta M_i = M_i - \bar{M} \dots\dots\dots (14)$$

马赫数分布均方根偏差 σ_M 按公式(15)计算:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta M_i)^2} \dots\dots\dots (15)$$

5.2.1.1.2 最大马赫数偏差

最大马赫数偏差 $\Delta M_{\max}$ 按公式(16)计算:

$$\Delta M_{\max} = |\Delta M_i|_{\max} \dots\dots\dots (16)$$

5.2.1.1.3 轴向马赫数梯度

轴向马赫数梯度 $\frac{dM}{dx}$ 按公式(17)进行计算:

$$\frac{dM}{dx} = \frac{n \sum_{j=1}^n x_j M_j - \sum_{j=1}^n x_j \sum_{j=1}^n M_j}{n \sum_{j=1}^n x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2} \dots\dots\dots (17)$$

当进行中心线或侧壁一排测点马赫数校测时, n 为模型区内测点总数, x_j 为第 j 测点距试验段入口的距离, M_j 为模型区内第 j 测点的马赫数。

当进行截面马赫数校测时, n 为模型区内校测截面总数, x_j 为第 j 截面距试验段入口的距离, M_j 为模型区内第 j 截面的平均马赫数。

5.2.1.1.4 参考点马赫数

试验段马赫数参考点可选择在驻室内或在模型前方的试验段侧壁上(在加速区之后、模型影响区之前), 应对可供选择的至少两个测点进行比较, 选择静压最接近空风洞模型区静压平均值的点作为参考点。通过测量参考点静压(当取多点时, 以其静压平均值作为参考点静压)和稳定段总压计算出参考点马赫数, 建立参考点马赫数与模型区核心流平均马赫数的关系, 给出 $\bar{M} \sim M_{\text{ref}}$ 曲线或 $(\bar{M} - M_{\text{ref}}) \sim M_{\text{ref}}$ 曲线。

5.2.1.2 方向场测量

5.2.1.2.1 局部流向角

采用多孔探头或楔形方向探头等测量局部流向角。根据方向探头上下测压点压差系数 ΔC_p 及方向探头校准曲线 $\Delta \alpha \sim \Delta C_{p\alpha}$, 求得铅垂面内气流流向角 $\Delta \alpha$ 。根据方向探头左右测压点压差系数 ΔC_p 及方向探头校准曲线 $\Delta \beta \sim \Delta C_{p\beta}$, 求得水平面内气流流向角 $\Delta \beta$ 。方向探头测压点压差也可以 $\frac{\Delta p}{p_0}$ 的形式表示。

5.2.1.2.2 平均气流偏角

同 5.1.2.2。

5.2.1.3 跨声速风洞通气壁板消波特性

用头锥角 20° 、堵塞度不大于 1% 的锥柱体模型, 在迎角 $\alpha=0^\circ$ 时表面压力分布测值与无干扰数据的比较来判断通气壁板的消波特性, 与无干扰数据吻合则表明通气壁消波特性好。

5.2.1.4 洞壁边界层测量

用梳状皮托排管、可移动的皮托单管或其他仪器测定模型区内至少两个典型位置的洞壁边界层总压分布。由测量位置的壁面静压和边界层内总压的比值计算马赫数:

当 $\frac{P}{P_0} > 0.528$ 时按公式 (12) 计算。

当 $\frac{P}{P_0} \leq 0.528$ 时按公式 (18) 计算:

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{7M^2 - 1}{6} \right)^{2.5} \left(\frac{5}{6M^2} \right)^{3.5} \dots\dots\dots (18)$$

边界层内速度分布按公式 (19) 计算:

$$\frac{u}{u_e} = \frac{M}{M_e} \left(\frac{1 + 0.2M_e^2}{1 + 0.2M^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (19)$$

以比值 $\frac{u}{u_e} = 0.99$ 处距壁面的距离为边界层厚度 δ 。

边界层位移厚度(可用数值积分方法计算)按公式 (20)~公式 (21) 计算:

$$\delta^* = \int_0^\delta \left(1 - \frac{\rho u}{(\rho u)_e} \right) dy \dots\dots\dots (20)$$

$$\frac{\rho u}{(\rho u)_e} = \frac{M}{M_e} \left(\frac{1 + 0.2M_e^2}{1 + 0.2M^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (21)$$

5.2.1.5 噪声测定

在试验段中心线上和洞壁测定气流噪声。在试验段中心线上, 用装有脉动压力传感器的 10° 锥模型测量(堵塞度小于 1%); 在洞壁用脉动压力传感器测定。噪声强度由所测定的噪声声压均方根值换算。

噪声声压均方根值 p_{rms} 按公式 (22) 计算:

$$p_{rms} = \lim_{T \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p_t - \bar{p})^2 dt} \dots\dots\dots (22)$$

气流脉动压力系数 C_{prms} 按公式 (23) 计算:

$$C_{prms} = \frac{p_{rms}}{q} \times 100\% \dots\dots\dots (23)$$

噪声声压级与噪声声压均方根值的转换关系见公式 (24):

$$SPL = 20 \lg \frac{p_{rms}}{p_{ref}} \dots\dots\dots (24)$$

式中:

p_{ref} ——基准声压, 其值为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$;

p_t ——声压信号, Pa;

$\bar{p}$ ——平均压力;

q ——来流动压, Pa。

5.2.1.6 湍流度测定

用热线风速仪、激光测速仪等测定试验段气流的湍流度。

5.2.1.7 气流不稳定性测定

当稳定段气流达到给定马赫数后,在 20s 内连续测量参考点马赫数 M_{ref} ,测量次数 n 不少于 200 次,参考点马赫数波动量按公式(25)~公式(26)计算:

$$\overline{M_{\text{ref}}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_{\text{ref}i} \dots\dots\dots (25)$$

$$\Delta M_{\text{ref max}} = \left| M_{\text{ref}i} - \overline{M_{\text{ref}}} \right|_{\text{max}} \dots\dots\dots (26)$$

5.2.2 超声速风洞流场校测方法和数据处理

5.2.2.1 速度场测量

用总压排架测量超声速风洞试验段各截面的 M 数分布,在模型区内测量截面的间距不大于 $\sqrt{A}/10$,每个截面至少在水平对称线与垂直对称线上进行测量,每条线上测点间距不大于 $\sqrt{A}/15$ 。

5.2.2.1.1 马赫数分布均方根偏差

以稳定段总压作为试验段总压 p_0 ,用总压排管测得各点波后总压 p'_0 ,按公式(27)计算测点 M 数:

$$\frac{p'_0}{p_0} = \left(\frac{6M^2}{5+M^2} \right)^{3.5} \left(\frac{6}{7M^2-1} \right)^{2.5} \dots\dots\dots (27)$$

模型区平均马赫数按公式(13)计算,马赫数分布均方根偏差按公式(14)~公式(15)计算。

5.2.2.1.2 马赫数分布最大偏差

同 5.2.1.1.2。

5.2.2.1.3 轴向马赫数梯度

同 5.2.1.1.3。

5.2.2.2 方向场测量

同 5.2.1.2。

5.2.2.3 洞壁边界层测量

同 5.2.1.4。

5.2.2.4 噪声测定

同 5.2.1.5。

5.2.2.5 气流不稳定性测定

在同一马赫数下,当稳定段总压达到给定值后,在 20s 内测量稳定段总压 p_0 不少于 200 次。总压波动量按公式(28)~公式(29)计算:

$$\overline{p_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{0i} \dots\dots\dots (28)$$

$$\frac{\Delta p_{0\text{max}}}{p_0} = \frac{\left| p_{0i} - \overline{p_0} \right|_{\text{max}}}{\overline{p_0}} \dots\dots\dots (29)$$

6 流场校测基本要求

6.1 校测周期

风洞流场校测周期一般为 4a。

首次进行流场校测时应包含全部内容,其他时间校测时可根据风洞具体情况选择部分内容。

6.2 气流湿度

高速风洞气流相对湿度应小于 0.05%。

6.3 流场校测时机

在出现以下情况时,应进行风洞流场校测:

a) 新建风洞;

GJB 1179A—2012

- b) 风洞洞体结构有较大变化;
- c) 测控系统有重大变动;
- d) 风洞试验质量有问题且与流场有关。

附录 A
(资料性附录)

20°锥柱体压力分布无干扰数据 ($\alpha=0^\circ$)

20°锥柱体压力分布无干扰数据 p/p_0 ($\alpha=0^\circ$, $0.7 \leq M \leq 1.05$) 见表 A.1。

表 A.1 20°锥柱体压力分布无干扰数据 p/p_0 ($\alpha=0^\circ$, $0.7 \leq M \leq 1.05$)

x/D	M					
	0.7	0.8	0.9	0.95	1	1.05
1	0.745	0.69	0.64	0.616	0.605	0.559
1.25	0.743	0.688	0.637	0.614	0.6	0.559
1.5	0.742	0.685	0.631	0.611	0.595	0.558
1.75	0.739	0.679	0.628	0.605	0.59	0.558
2	0.735	0.673	0.617	0.6	0.585	0.558
2.25	0.727	0.663	0.61	0.59	0.58	0.557
2.5	0.705	0.645	0.59	0.582	0.575	0.555
2.75	0.665	0.6	0.56	0.526	0.525	0.546
2.835	0.59	0.5	0.34	0.33	0.323	0.32
3	0.675	0.61	0.375	0.356	0.35	0.348
3.25	0.695	0.63	0.55	0.4	0.395	0.39
3.5	0.708	0.644	0.595	0.45	0.43	0.41
3.75	0.712	0.646	0.593	0.523	0.455	0.433
4	0.715	0.648	0.592	0.565	0.475	0.446
4.25	0.717	0.649	0.592	0.568	0.49	0.461
4.75	0.719	0.651	0.591	0.563	0.505	0.475
5	0.72	0.653	0.59	0.56	0.508	0.48
5.5	0.72	0.655	0.59	0.56	0.51	0.484
6	0.72	0.655	0.59	0.56	0.514	0.487
6.5	0.72	0.655	0.59	0.56	0.517	0.489
7	0.72	0.655	0.59	0.56	0.519	0.491
7.5	0.72	0.655	0.59	0.56	0.522	0.493
8	0.72	0.655	0.59	0.56	0.525	0.495
≥ 8.5	0.72	0.655	0.59	0.56	0.528	0.495

20°锥柱体压力分布无干扰数据 p/p_0 ($\alpha=0^\circ$, $1.1 \leq M \leq 1.5$) 见表 A.2。

表 A.2 20°锥柱体压力分布无干扰数据 p/p_0 ($\alpha=0^\circ$, $1.1 \leq M \leq 1.5$)

x/D	M					
	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4	1.5
<2.835	0.539	0.506	0.476	0.42	0.37	0.324
2.835	0.31	0.295	0.283	0.263	0.228	0.204
3	0.344	0.325	0.304	0.273	0.239	0.212
3.25	0.37	0.355	0.335	0.295	0.255	0.224
3.5	0.395	0.374	0.352	0.305	0.266	0.234
3.75	0.41	0.393	0.367	0.317	0.276	0.241
4	0.426	0.403	0.378	0.326	0.282	0.247
4.25	0.435	0.411	0.385	0.335	0.288	0.251
4.5	0.444	0.416	0.39	0.34	0.292	0.255
4.75	0.45	0.421	0.39	0.343	0.296	0.258
5	0.455	0.425	0.4	0.345	0.298	0.26
5.5	0.459	0.43	0.402	0.349	0.302	0.262
6	0.461	0.433	0.404	0.351	0.306	0.264
6.5	0.463	0.434	0.406	0.354	0.308	0.265
7	0.464	0.435	0.407	0.356	0.31	0.267
7.5	0.465	0.436	0.408	0.357	0.312	0.269
8	0.466	0.437	0.408	0.358	0.313	0.27
8.5	0.467	0.437	0.409	0.359	0.314	0.271
9	0.467	0.438	0.41	0.36	0.314	0.272
≥ 9.5	0.468	0.438	0.411	0.36	0.314	0.272

中 华 人 民 共 和 国
国家军用标准
低速风洞和高速风洞流场品质要求
GJB 1179A-2012

•
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 1¼ 字数 38 千字
2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷
印数 1-150

•
军标出字第 9166 号 定价 19.00 元



G J B 1 1 7 9 A - 2 0 1 2 Z