气象低速风洞测试规范

试验报告

规范起草组

2024年4月25日

# 目 录

[目 录 1](#_Toc164410055)

[一、试验目的 1](#_Toc164410056)

[二、试验对象 1](#_Toc164410057)

[三、参考资料 1](#_Toc164410058)

[四、试验人员 1](#_Toc164410059)

[五、标准（辅助）计量器具 1](#_Toc164410060)

[六、数据分析 1](#_Toc164410061)

[1. 流速范围 1](#_Toc164410062)

[2.稳定性试验 6](#_Toc164410063)

[3.均匀性试验 18](#_Toc164410064)

[4.轴向流速梯度试验 27](#_Toc164410065)

[5.温升试验 30](#_Toc164410066)

[6.噪声试验 31](#_Toc164410067)

[七、试验结论 33](#_Toc164410068)

# 试验目的

试验的目的主要为验证计量标准器和主要设备选择的准确性和可靠性，测试对象计量性能规定的正确性，测试方法的科学性和合理性，以及测试数据的准确性和测试结果的重复性等。

# 试验对象

直流式气象低速风洞、回流式气象低速风洞。

# 参考资料

1. GB/T 37467-2019 气象仪器术语

2. QX/T 323-2016 气象低速风洞技术条件

3. QX/T 84-2007 气象低速风洞性能测试规范

4. JJF1059 -2012 测量不确定度评定与表示

# 试验人员

王旭、白赢策、张昊喆、胡林宏、朱可、李松奎、缪琛彪。

# 标准（辅助）计量器具

| 仪器名称 | 测量范围 | 主要技术指标 |
| --- | --- | --- |
| 热线风速仪 | 0m/s～5m/s | 最大允许误差：±2%FS |
| 标准皮托静压管 | 2m/s～85m/s | 校准系数K：1.003 |
| 微差压计 | 0hPa～7500hPa | 最大允许误差：±0.5Pa |
| 温度测量仪器 | 0℃～50℃ | 最大允许误差：±0.5℃ |
| 湿度测量仪器 | 0%RH～100%RH | 最大允许误差：±8%RH |
| 气压测量仪器 | 500hPa～1050hPa | 最大允许误差：±2hPa |
| 声级计 | 50dB～130dB | 最大允许误差：±2dB |

# 数据分析

# 1. 流速范围

按照规范要求测试气象低速风洞出厂标称范围。选取型号JDF1型30m/s直路低速风洞（北京建筑研究院）、HDF-500型30m/s回路低速风洞（海南省气象计量站）、JDF1型40m/s直路低速风洞（天津中环天仪）、QXFD-70H型70m/s回路低速风洞（广东省气象计量检定所）、WZ860070-E型70m/s直路低速风洞（杭州佐格通信设备有限公司）分别进行流速范围测试试验验证。

流速下限测试采用热线流速仪。流速上限测试采用将标准皮托静压管。

**1.1 试验结果**

1.1.1 30m/s直路低速风洞

基础参数设置如表1所示；流速下限测试如表2所示；流速上限测试如表3所示。

表1 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 27.1 |
| 湿度（RH）： | 0.301 |
| 压力(hPa)： | 998.6 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 35.99005 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.030355 |
| 总修正系数K | 1.0319 |

表2 流速下限测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试序列 | 热线风速仪示值（m/s） |
| 1 | 0.260 |
| 2 | 0.210 |
| 3 | 0.260 |
| 流速下限平均值 | 0.240 |

表3 流速上限测试

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 微差压计读数（mmH2O） | 相当风速(m/s) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 54.810 | 29.61 | 30.56 |
| 2 | 54.720 | 29.59 | 30.53 |
| 3 | 54.769 | 29.60 | 30.55 |
| 流速上限平均值 | 54.766 | 29.60 | 30.55 |

1.1.2. 30m/s回路低速风洞

基础参数设置如表4所示；流速下限测试如表5所示；流速上限测试如表6所示。

表4 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 29.8 |
| 湿度（RH）： | 0.52 |
| 压力(hPa)： | 1006.2 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 42.10088 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.033203 |
| 总修正系数K | 1.034751 |

表5 流速下限测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试序列 | 热线风速仪示值（m/s） |
| 1 | 0.230 |
| 2 | 0.290 |
| 3 | 0.260 |
| 流速下限平均值 | 0.260 |

表6 流速上限测试

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 微差压计读数（mmH2O） | 相当风速(m/s) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 53.63 | 29.29 | 30.31 |
| 2 | 53.52 | 29.26 | 30.28 |
| 3 | 53.66 | 29.30 | 30.32 |
| 流速上限平均值 | 53.60 | 29.29 | 30.30 |

1.1.3 40m/s直路低速风洞

基础参数设置如表7所示；流速下限测试如表8所示；流速上限测试如表9所示。

表7 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 20.2 |
| 湿度（RH）： | 0.383 |
| 压力(hPa)： | 1025.4 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 23.74538 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.004673 |
| 总修正系数K | 1.006179 |

表8 流速下限测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试序列 | 热线风速仪示值（m/s） |
| 1 | 0.260 |
| 2 | 0.210 |
| 3 | 0.260 |
| 流速下限平均值 | 0.243 |

表9 流速上限测试

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 微差压计读数（mmH2O） | 相当风速(m/s) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 105.33 | 41.05 | 41.31 |
| 2 | 105.36 | 41.06 | 41.31 |
| 3 | 105.51 | 41.09 | 41.34 |
| 流速上限平均值 | 105.40 | 41.07 | 41.32 |

1.1.4 70m/s回路低速风洞

基础参数设置如表10所示；流速下限测试如表11所示；流速上限测试如表12所示。

表10 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 26.07 |
| 湿度（RH）： | 0.6014 |
| 压力(hPa)： | 1002.9 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 33.87107 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.028227 |
| 总修正系数K | 1.029768 |

表11 流速下限测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试序列 | 热线风速仪示值（m/s） |
| 1 | 0.182 |
| 2 | 0.215 |
| 3 | 0.203 |
| 流速下限平均值 | 0.200 |

表12 流速上限测试

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 微差压计读数（mmH2O） | 相当风速(m/s) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 295.35 | 68.74 | 70.79 |
| 2 | 295.34 | 68.74 | 70.79 |
| 3 | 295.35 | 68.74 | 70.79 |
| 流速上限平均值 | 295.35 | 68.74 | 70.79 |

1.1.5 70m/s直路低速风洞

基础参数设置如表13所示；流速下限测试如表14所示；流速上限测试如表15所示。

表13 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 15.1 |
| 湿度（RH）： | 0.68 |
| 压力(hPa)： | 1021.1 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 17.2062 |
| 空气密度修正系数Kp | 0.998486 |
| 总修正系数K | 0.999983 |

表14 流速下限测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试序列 | 热线风速仪示值（m/s） |
| 1 | 0.360 |
| 2 | 0.350 |
| 3 | 0.360 |
| 流速下限平均值 | 0.357 |

表15 流速上限测试

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 微差压计读数（mmH2O） | 相当风速(m/s) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 378.24 | 77.79 | 77.79 |
| 2 | 378.44 | 77.81 | 77.81 |
| 3 | 377.83 | 77.75 | 77.75 |
| 流速上限平均值 | 378.17 | 77.79 | 77.79 |

**1.2 结果分析**

根据5种风洞的测试数据来看，当风洞试验段内所达到稳定可用的最低（下限）至最高（上限）流速时，能够测试气象低速风洞出厂标称范围，因此对流速范围的规定可行。

# 2.稳定性试验

选取试验段被测截面中心作为测试位置。选取HDF-500型40m/s回路低速风洞（北京市气象仪器计量检定所）、DZS-II型40m/s直路低速风洞（湖北省气象计量检定站）、FD800S-70LX型70m/s回路低速风洞（广西壮族自治区气象计量所）、WZ860070-E型70m/s直路低速风洞（杭州佐格通信设备有限公司）分别进行流速稳定性试验。在试验段流速范围内均匀选择流速点，包括该试验段流速的上限、下限及中间点。流速下限测试采用热线流速仪。流速上限测试采用将标准皮托静压管。

在实际微风速测试过程工作中，2m/s的测试点稳定性表现较差，会出现超差现象。原因是低速风速基数小，风洞风场受外界影响较大，微小的扰动就会得到较大的相对偏差，对设备精度要求过于苛刻，因此分段规定了稳定性的误差。试验段流速2m/s（含）以下时，稳定性的最大绝对偏差值≤0.02m/s。试验段流速2m/s（含）以上时，稳定性≤0.5%。

**2.1 试验结果**

**2.1.1 40m/s回路低速风洞**

选取2m/s、20m/s、40m/s三个点进行测试。基础参数设置如表16所示。其流速稳定性具体数据见表17、表18、表19。

表16 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 28.3 |
| 湿度（RH）： | 0.63 |
| 压力(hPa)： | 999.8 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 38.6033867 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.03444152 |
| 总修正系数K | 1.03599202 |

表17 稳定性测试（2m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 0.252 | 2.08 | 0.01 | 0.248 | 2.06 | 0.00 | 0.251 | 2.08 | 0.01 |
| 5秒 | 0.250 | 2.07 | 0.00 | 0.245 | 2.05 | 0.01 | 0.251 | 2.08 | 0.01 |
| 10秒 | 0.251 | 2.08 | 0.00 | 0.247 | 2.06 | 0.00 | 0.251 | 2.08 | 0.01 |
| 15秒 | 0.249 | 2.07 | 0.00 | 0.249 | 2.07 | 0.01 | 0.252 | 2.08 | 0.01 |
| 20秒 | 0.253 | 2.08 | 0.01 | 0.250 | 2.07 | 0.01 | 0.249 | 2.07 | 0.00 |
| 25秒 | 0.247 | 2.06 | 0.01 | 0.244 | 2.05 | 0.01 | 0.246 | 2.06 | 0.01 |
| 30秒 | 0.248 | 2.06 | 0.01 | 0.247 | 2.06 | 0.00 | 0.248 | 2.06 | 0.00 |
| 35秒 | 0.247 | 2.06 | 0.01 | 0.247 | 2.06 | 0.00 | 0.249 | 2.07 | 0.00 |
| 40秒 | 0.249 | 2.07 | 0.00 | 0.245 | 2.05 | 0.01 | 0.247 | 2.06 | 0.01 |
| 45秒 | 0.252 | 2.08 | 0.01 | 0.249 | 2.07 | 0.01 | 0.247 | 2.06 | 0.01 |
| 50秒 | 0.252 | 2.08 | 0.01 | 0.250 | 2.07 | 0.01 | 0.246 | 2.06 | 0.01 |
| 55秒 | 0.249 | 2.07 | 0.00 | 0.249 | 2.07 | 0.01 | 0.251 | 2.08 | 0.01 |
| 平均值 | 2.07 | | | 2.06 | | | 2.07 | | |
| 2m/s平均流速 | 2.07 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.10% | | | 0.10% | | | 0.14% | | |

表18 稳定性测试（20m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 23.604 | 20.13 | 0.02 | 23.527 | 20.10 | 0.05 | 23.459 | 20.07 | 0.02 |
| 5秒 | 23.612 | 20.14 | 0.02 | 23.405 | 20.05 | 0.01 | 23.483 | 20.08 | 0.03 |
| 10秒 | 23.607 | 20.13 | 0.02 | 23.323 | 20.01 | 0.04 | 23.477 | 20.08 | 0.03 |
| 15秒 | 23.677 | 20.16 | 0.05 | 23.454 | 20.07 | 0.02 | 23.447 | 20.07 | 0.01 |
| 20秒 | 23.552 | 20.11 | 0.00 | 23.422 | 20.06 | 0.00 | 23.368 | 20.03 | 0.02 |
| 25秒 | 23.522 | 20.10 | 0.02 | 23.373 | 20.03 | 0.02 | 23.369 | 20.03 | 0.02 |
| 30秒 | 23.583 | 20.12 | 0.01 | 23.418 | 20.05 | 0.00 | 23.260 | 19.99 | 0.07 |
| 35秒 | 23.634 | 20.15 | 0.03 | 23.427 | 20.06 | 0.00 | 23.546 | 20.11 | 0.06 |
| 40秒 | 23.509 | 20.09 | 0.02 | 23.402 | 20.05 | 0.01 | 23.398 | 20.04 | 0.01 |
| 45秒 | 23.492 | 20.09 | 0.03 | 23.423 | 20.06 | 0.00 | 23.429 | 20.06 | 0.01 |
| 50秒 | 23.513 | 20.09 | 0.02 | 23.421 | 20.05 | 0.00 | 23.461 | 20.07 | 0.02 |
| 55秒 | 23.455 | 20.07 | 0.05 | 23.410 | 20.05 | 0.00 | 23.274 | 19.99 | 0.06 |
| 平均值 | 20.12 | | | 20.05 | | | 20.05 | | |
| 20m/s平均流速 | 20.07 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.24% | | | 0.23% | | | 0.33% | | |

表19 稳定性测试（40m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 88.425 | 38.97 | 0.05 | 87.542 | 38.77 | 0.02 | 87.454 | 38.75 | 0.03 |
| 5秒 | 88.405 | 38.96 | 0.05 | 88.006 | 38.88 | 0.08 | 87.271 | 38.71 | 0.01 |
| 10秒 | 88.380 | 38.96 | 0.04 | 87.860 | 38.84 | 0.05 | 87.216 | 38.70 | 0.03 |
| 15秒 | 88.496 | 38.98 | 0.07 | 87.560 | 38.78 | 0.02 | 87.532 | 38.77 | 0.04 |
| 20秒 | 88.261 | 38.93 | 0.01 | 87.686 | 38.80 | 0.01 | 87.376 | 38.74 | 0.01 |
| 25秒 | 88.144 | 38.91 | 0.01 | 87.716 | 38.81 | 0.02 | 87.323 | 38.72 | 0.00 |
| 30秒 | 88.109 | 38.90 | 0.02 | 87.770 | 38.82 | 0.03 | 87.181 | 38.69 | 0.03 |
| 35秒 | 88.338 | 38.95 | 0.03 | 87.659 | 38.80 | 0.00 | 87.481 | 38.76 | 0.03 |
| 40秒 | 87.967 | 38.87 | 0.05 | 87.263 | 38.71 | 0.08 | 87.082 | 38.67 | 0.06 |
| 45秒 | 87.899 | 38.85 | 0.07 | 87.518 | 38.77 | 0.03 | 87.501 | 38.76 | 0.04 |
| 50秒 | 87.903 | 38.85 | 0.07 | 87.181 | 38.69 | 0.10 | 87.165 | 38.69 | 0.04 |
| 55秒 | 88.044 | 38.88 | 0.03 | 87.881 | 38.85 | 0.05 | 87.448 | 38.75 | 0.02 |
| 平均值 | 38.92 | | | 38.79 | | | 38.73 | | |
| 40m/s平均流速 | 38.81 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.17% | | | 0.26% | | | 0.15% | | |

**2.1.2 40m/s直路低速风洞**

选取2m/s、20m/s、40m/s三个点进行测试。基础参数设置如表20所示。其流速稳定性具体数据见表21、表22、表23所示。

表20 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 21.6 |
| 湿度（RH）： | 0.542 |
| 压力(hPa)： | 1015.2 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 25.8826498 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.01306498 |
| 总修正系数K | 1.01458344 |

表21 稳定性测试（2m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 0.238 | 1.98 | 0.00 | 0.236 | 1.97 | 0.01 | 0.236 | 1.97 | 0.01 |
| 5秒 | 0.238 | 1.98 | 0.00 | 0.236 | 1.97 | 0.01 | 0.237 | 1.98 | 0.00 |
| 10秒 | 0.239 | 1.98 | 0.00 | 0.237 | 1.98 | 0.00 | 0.237 | 1.98 | 0.00 |
| 15秒 | 0.239 | 1.98 | 0.00 | 0.238 | 1.98 | 0.00 | 0.238 | 1.98 | 0.00 |
| 20秒 | 0.236 | 1.97 | 0.01 | 0.237 | 1.98 | 0.00 | 0.239 | 1.98 | 0.01 |
| 25秒 | 0.237 | 1.98 | 0.00 | 0.238 | 1.98 | 0.00 | 0.238 | 1.98 | 0.00 |
| 30秒 | 0.243 | 2.00 | 0.02 | 0.237 | 1.98 | 0.00 | 0.238 | 1.98 | 0.00 |
| 35秒 | 0.238 | 1.98 | 0.00 | 0.238 | 1.98 | 0.00 | 0.236 | 1.97 | 0.01 |
| 40秒 | 0.237 | 1.98 | 0.00 | 0.237 | 1.98 | 0.00 | 0.239 | 1.98 | 0.01 |
| 45秒 | 0.236 | 1.97 | 0.01 | 0.239 | 1.98 | 0.01 | 0.238 | 1.98 | 0.00 |
| 50秒 | 0.235 | 1.97 | 0.01 | 0.238 | 1.98 | 0.00 | 0.235 | 1.97 | 0.01 |
| 55秒 | 0.238 | 1.98 | 0.00 | 0.237 | 1.98 | 0.00 | 0.238 | 1.98 | 0.00 |
| 平均值 | 1.98 | | | 1.98 | | | 1.98 | | |
| 2m/s平均流速 | 1.98 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.43% | | | 0.19% | | | 0.26% | | |

表22 稳定性测试（20m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 25.016 | 20.30 | 0.07 | 24.700 | 20.17 | 0.05 | 24.674 | 20.16 | 0.03 |
| 5秒 | 24.994 | 20.29 | 0.06 | 24.917 | 20.26 | 0.04 | 24.779 | 20.20 | 0.02 |
| 10秒 | 24.974 | 20.28 | 0.05 | 24.757 | 20.19 | 0.02 | 24.894 | 20.25 | 0.06 |
| 15秒 | 24.910 | 20.26 | 0.02 | 24.977 | 20.28 | 0.07 | 24.551 | 20.11 | 0.08 |
| 20秒 | 24.996 | 20.29 | 0.06 | 24.741 | 20.19 | 0.03 | 24.872 | 20.24 | 0.06 |
| 25秒 | 24.866 | 20.24 | 0.00 | 24.831 | 20.22 | 0.01 | 24.845 | 20.23 | 0.04 |
| 30秒 | 24.679 | 20.16 | 0.07 | 24.952 | 20.27 | 0.06 | 24.566 | 20.11 | 0.07 |
| 35秒 | 24.986 | 20.29 | 0.05 | 24.712 | 20.17 | 0.04 | 24.744 | 20.19 | 0.00 |
| 40秒 | 24.785 | 20.20 | 0.03 | 24.844 | 20.23 | 0.01 | 24.628 | 20.14 | 0.04 |
| 45秒 | 24.873 | 20.24 | 0.01 | 24.598 | 20.13 | 0.09 | 24.771 | 20.20 | 0.01 |
| 50秒 | 24.521 | 20.10 | 0.14 | 24.905 | 20.25 | 0.04 | 25.015 | 20.30 | 0.11 |
| 55秒 | 24.657 | 20.15 | 0.08 | 24.868 | 20.24 | 0.02 | 24.501 | 20.09 | 0.10 |
| 平均值 | 20.23 | | | 20.22 | | | 20.18 | | |
| 20m/s平均流速 | 20.21 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.33% | | | 0.23% | | | 0.32% | | |

表23 稳定性测试（40m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 97.650 | 40.10 | 0.04 | 97.691 | 40.11 | 0.11 | 97.282 | 40.03 | 0.01 |
| 5秒 | 97.276 | 40.03 | 0.04 | 97.278 | 40.03 | 0.03 | 96.724 | 39.91 | 0.10 |
| 10秒 | 97.516 | 40.08 | 0.01 | 97.814 | 40.14 | 0.14 | 97.304 | 40.03 | 0.02 |
| 15秒 | 97.772 | 40.13 | 0.07 | 95.989 | 39.76 | 0.24 | 97.517 | 40.08 | 0.06 |
| 20秒 | 96.938 | 39.96 | 0.11 | 96.996 | 39.97 | 0.03 | 97.634 | 40.10 | 0.08 |
| 25秒 | 97.048 | 39.98 | 0.08 | 97.512 | 40.08 | 0.07 | 97.556 | 40.08 | 0.07 |
| 30秒 | 96.864 | 39.94 | 0.12 | 97.363 | 40.04 | 0.04 | 96.475 | 39.86 | 0.16 |
| 35秒 | 97.646 | 40.10 | 0.04 | 96.686 | 39.91 | 0.10 | 97.073 | 39.98 | 0.03 |
| 40秒 | 97.765 | 40.13 | 0.06 | 96.944 | 39.96 | 0.04 | 97.659 | 40.11 | 0.09 |
| 45秒 | 97.516 | 40.08 | 0.01 | 97.083 | 39.99 | 0.01 | 97.300 | 40.03 | 0.01 |
| 50秒 | 97.736 | 40.12 | 0.06 | 97.066 | 39.98 | 0.02 | 96.899 | 39.95 | 0.07 |
| 55秒 | 97.671 | 40.11 | 0.05 | 97.449 | 40.06 | 0.06 | 97.346 | 40.04 | 0.02 |
| 平均值 | 40.06 | | | 40.00 | | | 40.02 | | |
| 40m/s平均流速 | 40.03 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.17% | | | 0.25% | | | 0.19% | | |

**2.1.3 70m/s回路低速风洞**

选取2m/s、40m/s、60m/s三个点进行测试。基础参数设置如表24所示。其流速稳定性具体数据见表25、表26、表27所示。

表24 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 28.5 |
| 湿度（RH）： | 0.63 |
| 压力(hPa)： | 991.7 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 39.0546081 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.03909818 |
| 总修正系数K | 1.04065566 |

表25 稳定性测试（2m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.245 | 2.06 | 0.00 |
| 5秒 | 0.246 | 2.06 | 0.00 | 0.245 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 |
| 10秒 | 0.246 | 2.06 | 0.00 | 0.245 | 2.06 | 0.00 | 0.245 | 2.06 | 0.00 |
| 15秒 | 0.246 | 2.06 | 0.00 | 0.245 | 2.06 | 0.00 | 0.245 | 2.06 | 0.00 |
| 20秒 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 |
| 25秒 | 0.245 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 |
| 30秒 | 0.245 | 2.06 | 0.00 | 0.243 | 2.05 | 0.00 | 0.245 | 2.06 | 0.00 |
| 35秒 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.243 | 2.05 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 |
| 40秒 | 0.245 | 2.06 | 0.00 | 0.245 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 |
| 45秒 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 |
| 50秒 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 |
| 55秒 | 0.245 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 | 0.244 | 2.06 | 0.00 |
| 平均值 | 2.06 | | | 2.06 | | | 2.06 | | |
| 2m/s平均流速 | 2.06 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.24% | | | 0.24% | | | 0.14% | | |

表26 稳定性测试（40m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 92.832 | 40.11 | 0.00 | 92.804 | 40.10 | 0.00 | 92.784 | 40.10 | 0.00 |
| 5秒 | 92.853 | 40.11 | 0.01 | 92.844 | 40.11 | 0.01 | 92.744 | 40.09 | 0.01 |
| 10秒 | 92.820 | 40.10 | 0.00 | 92.781 | 40.10 | 0.00 | 92.761 | 40.09 | 0.01 |
| 15秒 | 92.805 | 40.10 | 0.00 | 92.783 | 40.10 | 0.00 | 92.807 | 40.10 | 0.00 |
| 20秒 | 92.805 | 40.10 | 0.00 | 92.831 | 40.11 | 0.01 | 92.814 | 40.10 | 0.01 |
| 25秒 | 92.829 | 40.11 | 0.00 | 92.778 | 40.09 | 0.00 | 92.811 | 40.10 | 0.01 |
| 30秒 | 92.841 | 40.11 | 0.00 | 92.786 | 40.10 | 0.00 | 92.729 | 40.08 | 0.01 |
| 35秒 | 92.808 | 40.10 | 0.00 | 92.780 | 40.10 | 0.00 | 92.826 | 40.11 | 0.01 |
| 40秒 | 92.823 | 40.10 | 0.00 | 92.809 | 40.10 | 0.00 | 92.755 | 40.09 | 0.01 |
| 45秒 | 92.771 | 40.09 | 0.01 | 92.768 | 40.09 | 0.01 | 92.805 | 40.10 | 0.00 |
| 50秒 | 92.859 | 40.11 | 0.01 | 92.821 | 40.10 | 0.01 | 92.775 | 40.09 | 0.00 |
| 55秒 | 92.800 | 40.10 | 0.00 | 92.788 | 40.10 | 0.00 | 92.810 | 40.10 | 0.01 |
| 平均值 | 40.10 | | | 40.10 | | | 40.10 | | |
| 40m/s平均流速 | 40.10 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.03% | | | 0.02% | | | 0.03% | | |

表27 稳定性测试（60m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 208.649 | 60.13 | 0.02 | 208.342 | 60.08 | 0.00 | 208.072 | 60.04 | 0.02 |
| 5秒 | 208.597 | 60.12 | 0.01 | 208.162 | 60.06 | 0.03 | 208.052 | 60.04 | 0.02 |
| 10秒 | 208.516 | 60.11 | 0.00 | 208.197 | 60.06 | 0.02 | 208.115 | 60.05 | 0.01 |
| 15秒 | 208.330 | 60.08 | 0.03 | 208.266 | 60.07 | 0.01 | 208.372 | 60.09 | 0.02 |
| 20秒 | 208.335 | 60.08 | 0.03 | 208.356 | 60.09 | 0.00 | 208.582 | 60.12 | 0.05 |
| 25秒 | 208.314 | 60.08 | 0.03 | 208.420 | 60.09 | 0.01 | 208.470 | 60.10 | 0.04 |
| 30秒 | 208.444 | 60.10 | 0.01 | 208.633 | 60.13 | 0.04 | 208.451 | 60.10 | 0.03 |
| 35秒 | 208.507 | 60.11 | 0.00 | 208.543 | 60.11 | 0.03 | 208.379 | 60.09 | 0.02 |
| 40秒 | 208.718 | 60.14 | 0.03 | 208.444 | 60.10 | 0.02 | 208.136 | 60.05 | 0.01 |
| 45秒 | 208.627 | 60.12 | 0.01 | 208.411 | 60.09 | 0.01 | 207.963 | 60.03 | 0.04 |
| 50秒 | 208.758 | 60.14 | 0.03 | 208.251 | 60.07 | 0.01 | 208.019 | 60.04 | 0.03 |
| 55秒 | 208.668 | 60.13 | 0.02 | 208.045 | 60.04 | 0.04 | 207.997 | 60.03 | 0.03 |
| 平均值 | 60.11 | | | 60.08 | | | 60.07 | | |
| 60m/s平均流速 | 60.09 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.05% | | | 0.07% | | | 0.09% | | |

**2.1.4 70m/s直路低速风洞**

选取2m/s、40m/s、60m/s三个点进行测试。基础参数设置如表28所示。其流速稳定性具体数据见表29、表30、表31所示。

表28 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 15.1 |
| 湿度（RH）： | 0.68 |
| 压力(hPa)： | 1021.1 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 17.2062 |
| 空气密度修正系数Kp | 0.998486 |
| 总修正系数K | 0.999983 |

表29 稳定性测试（2m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 0.264 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 |
| 5秒 | 0.264 | 2.05 | 0.00 | 0.261 | 2.04 | 0.00 | 0.261 | 2.04 | 0.00 |
| 10秒 | 0.263 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 | 0.261 | 2.04 | 0.00 |
| 15秒 | 0.263 | 2.05 | 0.00 | 0.261 | 2.04 | 0.00 | 0.261 | 2.04 | 0.00 |
| 20秒 | 0.264 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 |
| 25秒 | 0.264 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 | 0.264 | 2.05 | 0.01 |
| 30秒 | 0.262 | 2.05 | 0.01 | 0.263 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 |
| 35秒 | 0.262 | 2.05 | 0.01 | 0.263 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 |
| 40秒 | 0.264 | 2.05 | 0.00 | 0.261 | 2.04 | 0.00 | 0.263 | 2.05 | 0.00 |
| 45秒 | 0.264 | 2.05 | 0.00 | 0.263 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 |
| 50秒 | 0.264 | 2.05 | 0.00 | 0.261 | 2.04 | 0.00 | 0.261 | 2.04 | 0.00 |
| 55秒 | 0.264 | 2.05 | 0.00 | 0.263 | 2.05 | 0.00 | 0.262 | 2.05 | 0.00 |
| 平均值 | 2.05 | | | 2.05 | | | 2.05 | | |
| 2m/s平均流速 | 2.05 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.28% | | | 0.19% | | | 0.40% | | |

表30 稳定性测试（40m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 100.52 | 40.08 | 0.02 | 100.48 | 40.07 | 0.00 | 100.08 | 39.99 | 0.05 |
| 5秒 | 100.16 | 40.01 | 0.05 | 100.27 | 40.03 | 0.04 | 100.08 | 39.99 | 0.05 |
| 10秒 | 100.43 | 40.06 | 0.00 | 100.80 | 40.13 | 0.06 | 100.70 | 40.11 | 0.07 |
| 15秒 | 100.17 | 40.01 | 0.05 | 100.22 | 40.02 | 0.05 | 100.71 | 40.12 | 0.07 |
| 20秒 | 100.73 | 40.12 | 0.06 | 100.87 | 40.15 | 0.08 | 100.51 | 40.08 | 0.03 |
| 25秒 | 100.56 | 40.09 | 0.03 | 100.41 | 40.06 | 0.01 | 100.07 | 39.99 | 0.06 |
| 30秒 | 100.13 | 40.00 | 0.06 | 100.52 | 40.08 | 0.01 | 100.41 | 40.06 | 0.01 |
| 35秒 | 100.41 | 40.06 | 0.00 | 100.43 | 40.06 | 0.01 | 100.35 | 40.05 | 0.00 |
| 40秒 | 100.51 | 40.08 | 0.02 | 100.45 | 40.07 | 0.01 | 100.28 | 40.03 | 0.01 |
| 45秒 | 100.48 | 40.07 | 0.01 | 100.34 | 40.04 | 0.03 | 100.55 | 40.09 | 0.04 |
| 50秒 | 100.53 | 40.08 | 0.02 | 100.33 | 40.04 | 0.03 | 100.26 | 40.03 | 0.02 |
| 55秒 | 100.42 | 40.06 | 0.00 | 100.72 | 40.12 | 0.05 | 100.14 | 40.00 | 0.04 |
| 平均值 | 40.06 | | | 40.07 | | | 40.40 | | |
| 40m/s平均流速 | 40.06 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.15% | | | 0.19% | | | 0.18% | | |

表30 稳定性测试（60m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | | 第2组 | | | 第3组 | | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 与均值绝对差(m/s) |
| 0秒 | 223.16 | 59.72 | 0.03 | 222.904 | 59.68 | 0.04 | 223.437 | 59.75 | 0.11 |
| 5秒 | 222.47 | 59.62 | 0.06 | 221.972 | 59.56 | 0.09 | 222.852 | 59.68 | 0.03 |
| 10秒 | 222.98 | 59.69 | 0.01 | 222.692 | 59.65 | 0.01 | 222.631 | 59.65 | 0.00 |
| 15秒 | 222.95 | 59.69 | 0.00 | 222.246 | 59.60 | 0.05 | 222.258 | 59.60 | 0.05 |
| 20秒 | 222.73 | 59.66 | 0.03 | 222.775 | 59.67 | 0.02 | 222.456 | 59.62 | 0.02 |
| 25秒 | 222.93 | 59.69 | 0.00 | 222.826 | 59.67 | 0.02 | 221.815 | 59.54 | 0.11 |
| 30秒 | 223.47 | 59.76 | 0.07 | 221.892 | 59.55 | 0.10 | 222.229 | 59.59 | 0.05 |
| 35秒 | 223.58 | 59.77 | 0.09 | 224.146 | 59.85 | 0.20 | 222.843 | 59.68 | 0.03 |
| 40秒 | 222.56 | 59.64 | 0.05 | 222.704 | 59.66 | 0.01 | 223.041 | 59.70 | 0.06 |
| 45秒 | 222.72 | 59.66 | 0.03 | 222.679 | 59.65 | 0.01 | 222.329 | 59.61 | 0.04 |
| 50秒 | 222.86 | 59.68 | 0.01 | 222.849 | 59.68 | 0.03 | 222.733 | 59.66 | 0.02 |
| 55秒 | 222.81 | 59.67 | 0.02 | 222.013 | 59.56 | 0.08 | 222.558 | 59.64 | 0.01 |
| 平均值 | 59.69 | | | 59.66 | | | 59.64 | | |
| 60m/s平均流速 | 59.66 | | | | | | | | |
| 每次稳定性 | 0.14% | | | 0.34% | | | 0.19% | | |

**2.2 结果分析**

根据4种风洞的测试数据来看，各测试点的误差均在最大允许误差范围内。

根据JJF1094-2002《测量仪器特性评定》，对本次试验的测量结果及不确定度进行验证，合格判据为：

a) ；

b) ≤-。

以WZ860070-E型70m/s直路低速风洞（杭州佐格通信设备有限公司）测试数据为例，数据不确定度验证信息如表31所示。

表31 不确定度验证信息表

| 测试点 |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 1.0% | 0.54% | 0.33% | 0.40% | 0.46% |
| 40 | 0.5% | 0.06% | 0.17% | 0.19% | 0.44% |
| 60 | 0.5% | 0.08% | 0.17% | 0.34% | 0.42% |
| 合格判据 | |  | |  | |
| 验证结果 | | 仅2m/s点不符合 | | 2m/s点符合 | |

通过表31可知，用a）判据对本次测量的扩展不确定度进行评定，测试点稳定性均小于最大允许误差。除2m/s点外，稳定性的测量不确定度均小于最大允许误差绝对值的。2m/s点用b）判据对本次测量的扩展不确定度进行评定，各表均符合合格判定要求。通过对试验结果数据分析及不确定度进行评定，可确定本规范提供的测试方法合理适用。

# 3.均匀性试验

选择试验段仪器安装截面作为被测截面，距离洞壁15cm，每（5～10）cm间距选择一个测试点。选取WZ860070-E型70m/s直路低速风洞（杭州佐格通信设备有限公司）、天津市气象仪器计量检定站配备的风洞为40m/s直路低速风洞、FD800S-70LX的70m/s回路低速风洞（广西壮族自治区气象计量所）三家单位分别进行流速均匀性测试试验验证。

**（一）试验验证**

**1.70m/s直路低速风洞**

表32 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 15.1 |
| 湿度（RH）： | 0.68 |
| 压力(hPa)： | 1021.1 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 17.2062 |
| 空气密度修正系数Kp | 0.998486 |
| 总修正系数K | 0.999983 |

其流速均匀性具体数据见表33、表34、表35：

表33 均匀性测试（2m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 0.238 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 0.238 | 1.95 | 0.237 | 1.94 | 0.238 | 1.94 |
| 2 | 0.241 | 1.96 | 0.239 | 1.95 | 0.242 | 1.96 | 0.243 | 1.97 | 0.244 | 1.97 |
| 3 | 0.239 | 1.95 | 0.24 | 1.96 | 0.239 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 0.239 | 1.95 |
| 4 | 0.24 | 1.96 | 0.239 | 1.95 | 0.238 | 1.95 | 0.24 | 1.96 | 0.238 | 1.95 |
| 5 | 0.24 | 1.96 | 0.24 | 1.96 | 0.24 | 1.96 | 0.24 | 1.96 | 0.238 | 1.95 |
| 6 | 0.24 | 1.96 | 0.238 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 0.24 | 1.96 | 0.239 | 1.95 |
| 7 | 0.238 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 0.24 | 1.96 | 0.241 | 1.96 | 0.239 | 1.95 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 0.237 | 1.94 | 0.238 | 1.95 | 0.238 | 1.95 | 0.238 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 1.9482 | 0.0026 |
| 2 | 0.243 | 1.97 | 0.241 | 1.96 | 0.24 | 1.96 | 0.241 | 1.96 | 0.239 | 1.95 | 1.9617 |
| 3 | 0.24 | 1.96 | 0.239 | 1.95 | 0.238 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 1.9527 |
| 4 | 0.237 | 1.94 | 0.239 | 1.95 | 0.24 | 1.96 | 0.239 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 1.9519 |
| 5 | 0.237 | 1.94 | 0.238 | 1.95 | 0.238 | 1.95 | 0.237 | 1.94 | 0.238 | 1.95 | 1.9507 |
| 6 | 0.239 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 0.237 | 1.94 | 0.238 | 1.95 | 1.9515 |
| 7 | 0.238 | 1.95 | 0.242 | 1.96 | 0.239 | 1.95 | 0.239 | 1.95 | 0.241 | 1.96 | 1.9547 |

表34 均匀性测试（40m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 99.52 | 39.84 | 100.19 | 39.97 | 99.20 | 39.78 | 99.68 | 39.87 | 100.01 | 39.94 |
| 2 | 99.81 | 39.90 | 100.09 | 39.95 | 99.58 | 39.85 | 99.78 | 39.89 | 99.59 | 39.85 |
| 3 | 99.96 | 39.93 | 99.54 | 39.84 | 99.38 | 39.81 | 99.63 | 39.86 | 99.69 | 39.87 |
| 4 | 99.17 | 39.77 | 99.17 | 39.77 | 99.36 | 39.81 | 99.25 | 39.78 | 99.04 | 39.74 |
| 5 | 99.64 | 39.86 | 99.31 | 39.80 | 99.62 | 39.86 | 99.73 | 39.88 | 99.34 | 39.80 |
| 6 | 99.65 | 39.87 | 99.73 | 39.88 | 99.97 | 39.93 | 99.89 | 39.91 | 100.09 | 39.95 |
| 7 | 99.99 | 39.93 | 100.10 | 39.95 | 99.95 | 39.92 | 100.21 | 39.98 | 100.12 | 39.96 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 99.20 | 39.78 | 100.01 | 39.94 | 99.66 | 39.87 | 99.75 | 39.89 | 99.78 | 39.89 | 39.8745 | 0.0020 |
| 2 | 99.60 | 39.85 | 99.49 | 39.83 | 99.70 | 39.88 | 99.34 | 39.80 | 99.72 | 39.88 | 39.8681 |
| 3 | 99.42 | 39.82 | 100.03 | 39.94 | 99.38 | 39.81 | 99.55 | 39.84 | 99.77 | 39.89 | 39.8616 |
| 4 | 99.14 | 39.76 | 99.61 | 39.86 | 99.07 | 39.75 | 99.47 | 39.83 | 99.52 | 39.84 | 39.7905 |
| 5 | 99.34 | 39.80 | 99.20 | 39.78 | 99.36 | 39.81 | 99.56 | 39.85 | 99.55 | 39.85 | 39.8276 |
| 6 | 99.53 | 39.84 | 99.84 | 39.90 | 99.55 | 39.84 | 99.59 | 39.85 | 100.27 | 39.99 | 39.8967 |
| 7 | 100.30 | 40.00 | 100.46 | 40.03 | 99.88 | 39.91 | 100.01 | 39.94 | 99.77 | 39.89 | 39.9503 |

表35 均匀性测试（60m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 227.49 | 60.23 | 227.18 | 60.19 | 227.99 | 60.30 | 227.86 | 60.28 | 227.72 | 60.26 |
| 2 | 228.28 | 60.34 | 227.33 | 60.21 | 227.58 | 60.24 | 227.95 | 60.29 | 227.18 | 60.19 |
| 3 | 227.27 | 60.20 | 227.27 | 60.20 | 227.42 | 60.22 | 226.19 | 60.06 | 226.91 | 60.16 |
| 4 | 227.94 | 60.29 | 226.21 | 60.06 | 226.18 | 60.06 | 226.77 | 60.14 | 226.61 | 60.12 |
| 5 | 225.83 | 60.01 | 226.30 | 60.07 | 225.89 | 60.02 | 225.82 | 60.01 | 225.97 | 60.03 |
| 6 | 226.20 | 60.06 | 225.96 | 60.03 | 224.83 | 59.88 | 225.54 | 59.97 | 225.75 | 60.00 |
| 7 | 225.25 | 59.93 | 225.28 | 59.94 | 225.09 | 59.91 | 224.86 | 59.88 | 225.29 | 59.94 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 227.47 | 60.23 | 227.66 | 60.25 | 228.40 | 60.35 | 227.39 | 60.22 | 227.89 | 60.29 | 60.2608 | 0.0026 |
| 2 | 226.79 | 60.14 | 227.92 | 60.29 | 227.68 | 60.26 | 227.64 | 60.25 | 227.84 | 60.28 | 60.2494 |
| 3 | 226.69 | 60.13 | 227.33 | 60.21 | 226.87 | 60.15 | 227.34 | 60.21 | 227.23 | 60.20 | 60.1743 |
| 4 | 227.42 | 60.22 | 227.56 | 60.24 | 227.22 | 60.20 | 226.55 | 60.11 | 226.29 | 60.07 | 60.1509 |
| 5 | 225.28 | 59.94 | 226.15 | 60.05 | 226.04 | 60.04 | 226.66 | 60.12 | 226.43 | 60.09 | 60.0395 |
| 6 | 225.13 | 59.92 | 224.75 | 59.87 | 225.33 | 59.95 | 225.42 | 59.96 | 224.97 | 59.90 | 59.9534 |
| 7 | 224.13 | 59.79 | 224.49 | 59.83 | 225.18 | 59.93 | 225.32 | 59.94 | 225.27 | 59.94 | 59.9037 |

**2.40m/s直路低速风洞**

天津市气象仪器计量检定站配备的风洞为40m/s直路低速风洞，其基础参数设置如表36所示：

表36 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 25.6 |
| 湿度（RH）： | 0.622 |
| 压力(hPa)： | 999 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 32.9408185 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.0294618 |
| 总修正系数K | 1.03100484 |

其流速均匀性具体数据见表37、表38、表39、：

表37 均匀性测试（2m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 0.209 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.209 | 1.89 | 0.208 | 1.88 | 0.208 | 1.88 |
| 2 | 0.213 | 1.90 | 0.214 | 1.91 | 0.214 | 1.91 | 0.214 | 1.91 | 0.214 | 1.91 |
| 3 | 0.211 | 1.89 | 0.211 | 1.89 | 0.211 | 1.89 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 |
| 4 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.21 | 1.89 |
| 5 | 0.213 | 1.90 | 0.213 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 |
| 6 | 0.211 | 1.89 | 0.212 | 1.90 | 0.211 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 |
| 7 | 0.21 | 1.89 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.211 | 1.89 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 0.208 | 1.88 | 0.209 | 1.89 | 0.208 | 1.88 | 0.208 | 1.88 | 0.209 | 1.89 | 1.8836 | 0.0052 |
| 2 | 0.213 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 1.9033 |
| 3 | 0.211 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 1.8935 |
| 4 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 1.8979 |
| 5 | 0.211 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.211 | 1.89 | 0.211 | 1.89 | 1.8966 |
| 6 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 1.8917 |
| 7 | 0.212 | 1.90 | 0.212 | 1.90 | 0.211 | 1.89 | 0.211 | 1.89 | 0.21 | 1.89 | 1.8957 |

表38 均匀性测试（20m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 22.806 | 19.69 | 22.649 | 19.63 | 22.52 | 19.57 | 22.699 | 19.65 | 22.702 | 19.65 |
| 2 | 22.954 | 19.76 | 22.964 | 19.76 | 23.113 | 19.83 | 23.042 | 19.80 | 23.02 | 19.79 |
| 3 | 23.005 | 19.78 | 22.996 | 19.78 | 23.001 | 19.78 | 23.001 | 19.78 | 22.866 | 19.72 |
| 4 | 22.68 | 19.64 | 22.912 | 19.74 | 22.921 | 19.74 | 22.97 | 19.77 | 22.975 | 19.77 |
| 5 | 23.018 | 19.79 | 22.878 | 19.73 | 22.883 | 19.73 | 23.058 | 19.80 | 22.896 | 19.73 |
| 6 | 23.036 | 19.79 | 23.042 | 19.80 | 23.109 | 19.82 | 23.107 | 19.82 | 23.108 | 19.82 |
| 7 | 23.107 | 19.82 | 22.938 | 19.75 | 22.952 | 19.76 | 22.952 | 19.76 | 22.959 | 19.76 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 22.561 | 19.59 | 22.725 | 19.66 | 22.72 | 19.66 | 22.713 | 19.65 | 22.513 | 19.57 | 19.6317 | 0.0048 |
| 2 | 22.847 | 19.71 | 22.849 | 19.71 | 22.645 | 19.62 | 22.655 | 19.63 | 22.651 | 19.63 | 19.7237 |
| 3 | 23.018 | 19.79 | 23.019 | 19.79 | 23.152 | 19.84 | 22.872 | 19.72 | 22.872 | 19.72 | 19.7696 |
| 4 | 22.975 | 19.77 | 22.972 | 19.77 | 22.826 | 19.70 | 22.837 | 19.71 | 22.991 | 19.77 | 19.7376 |
| 5 | 23.034 | 19.79 | 22.874 | 19.72 | 22.716 | 19.66 | 22.884 | 19.73 | 22.882 | 19.73 | 19.7403 |
| 6 | 23.259 | 19.89 | 23.251 | 19.89 | 23.072 | 19.81 | 22.936 | 19.75 | 23.089 | 19.82 | 19.8214 |
| 7 | 22.964 | 19.76 | 22.973 | 19.77 | 23.127 | 19.83 | 23.129 | 19.83 | 23.328 | 19.92 | 19.7965 |

表39 均匀性测试（40m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 93.021 | 39.78 | 93.449 | 39.87 | 93.593 | 39.90 | 93.232 | 39.82 | 93.414 | 39.86 |
| 2 | 93.448 | 39.87 | 93.11 | 39.79 | 93.31 | 39.84 | 93.598 | 39.90 | 93.633 | 39.91 |
| 3 | 92.387 | 39.64 | 91.881 | 39.53 | 92.854 | 39.74 | 92.554 | 39.68 | 92.976 | 39.77 |
| 4 | 92.105 | 39.58 | 92.336 | 39.63 | 91.705 | 39.49 | 91.428 | 39.43 | 91.918 | 39.54 |
| 5 | 91.82 | 39.52 | 91.828 | 39.52 | 92.019 | 39.56 | 92.172 | 39.59 | 92.356 | 39.63 |
| 6 | 91.874 | 39.53 | 91.619 | 39.47 | 91.601 | 39.47 | 91.616 | 39.47 | 92.318 | 39.62 |
| 7 | 91.547 | 39.46 | 92.735 | 39.71 | 92.46 | 39.65 | 91.871 | 39.53 | 92.35 | 39.63 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 93.768 | 39.93 | 93.655 | 39.91 | 93.334 | 39.84 | 93.986 | 39.98 | 93.871 | 39.96 | 39.8842 | 0.0047 |
| 2 | 93.707 | 39.92 | 93.124 | 39.80 | 93.696 | 39.92 | 93.511 | 39.88 | 93.235 | 39.82 | 39.8639 |
| 3 | 92.528 | 39.67 | 92.876 | 39.74 | 92.75 | 39.72 | 92.665 | 39.70 | 92.648 | 39.70 | 39.6875 |
| 4 | 92.304 | 39.62 | 91.557 | 39.46 | 91.411 | 39.43 | 91.722 | 39.50 | 91.253 | 39.40 | 39.5075 |
| 5 | 92.334 | 39.63 | 93.291 | 39.83 | 92.812 | 39.73 | 92.63 | 39.69 | 92.36 | 39.63 | 39.6339 |
| 6 | 92.669 | 39.70 | 92.531 | 39.67 | 92.07 | 39.57 | 92.257 | 39.61 | 92.547 | 39.67 | 39.5798 |
| 7 | 91.929 | 39.54 | 92.307 | 39.62 | 92.52 | 39.67 | 92.278 | 39.62 | 92.536 | 39.67 | 39.6106 |

**3.70m/s回路低速风洞**

广西壮族自治区气象计量所所配备的风洞为70m/s回路低速风洞，其基础参数设置如表40所示：

表40 基础参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 温度（℃）： | 28.5 |
| 湿度（RH）： | 0.63 |
| 压力(hPa)： | 991.7 |
| 皮托管校准系数ξ | 1.003 |
| 饱和水汽压ew | 39.0546081 |
| 空气密度修正系数Kp | 1.03909818 |
| 总修正系数K | 1.04065566 |

其流速均匀性具体数据见表41、表42、表43、：

表41 均匀性测试（2m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 0.243 | 2.05 | 0.244 | 2.06 | 0.244 | 2.06 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 |
| 2 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.244 | 2.06 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 |
| 3 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.241 | 2.04 | 0.242 | 2.05 |
| 4 | 0.244 | 2.06 | 0.242 | 2.05 | 0.242 | 2.05 | 0.241 | 2.04 | 0.242 | 2.05 |
| 5 | 0.242 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.242 | 2.05 | 0.242 | 2.05 | 0.242 | 2.05 |
| 6 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.242 | 2.05 |
| 7 | 0.243 | 2.05 | 0.242 | 2.05 | 0.241 | 2.04 | 0.242 | 2.05 | 0.242 | 2.05 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 2.0528 | 0.0017 |
| 2 | 0.241 | 2.04 | 0.242 | 2.05 | 0.242 | 2.05 | 0.242 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 2.0503 |
| 3 | 0.241 | 2.04 | 0.24 | 2.04 | 0.241 | 2.04 | 0.241 | 2.04 | 0.241 | 2.04 | 2.0460 |
| 4 | 0.242 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.244 | 2.06 | 0.243 | 2.05 | 0.242 | 2.05 | 2.0499 |
| 5 | 0.241 | 2.04 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.245 | 2.06 | 0.243 | 2.05 | 2.0503 |
| 6 | 0.243 | 2.05 | 0.244 | 2.06 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 0.244 | 2.06 | 2.0524 |
| 7 | 0.243 | 2.05 | 0.244 | 2.06 | 0.244 | 2.06 | 0.243 | 2.05 | 0.243 | 2.05 | 2.0507 |

表42 均匀性测试（30m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 53.677 | 30.50 | 53.753 | 30.52 | 53.796 | 30.53 | 53.762 | 30.52 | 53.751 | 30.52 |
| 2 | 53.796 | 30.53 | 53.846 | 30.55 | 53.799 | 30.53 | 53.801 | 30.53 | 53.773 | 30.52 |
| 3 | 53.894 | 30.56 | 53.891 | 30.56 | 53.903 | 30.56 | 53.919 | 30.57 | 53.907 | 30.56 |
| 4 | 54.024 | 30.60 | 54.003 | 30.59 | 54.022 | 30.60 | 54.025 | 30.60 | 54.054 | 30.60 |
| 5 | 54.006 | 30.59 | 54.035 | 30.60 | 53.997 | 30.59 | 54.002 | 30.59 | 54.002 | 30.59 |
| 6 | 54.019 | 30.59 | 54.016 | 30.59 | 53.986 | 30.58 | 54.03 | 30.60 | 54.033 | 30.60 |
| 7 | 54.141 | 30.63 | 54.149 | 30.63 | 54.104 | 30.62 | 54.069 | 30.61 | 54.131 | 30.63 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 53.715 | 30.51 | 53.744 | 30.52 | 53.746 | 30.52 | 53.715 | 30.51 | 53.738 | 30.51 | 30.5151 | 0.0017 |
| 2 | 53.798 | 30.53 | 53.817 | 30.54 | 53.791 | 30.53 | 53.733 | 30.51 | 53.836 | 30.54 | 30.5319 |
| 3 | 53.878 | 30.55 | 53.898 | 30.56 | 53.898 | 30.56 | 53.896 | 30.56 | 53.853 | 30.55 | 30.5588 |
| 4 | 54.046 | 30.60 | 54.015 | 30.59 | 54.018 | 30.59 | 54.046 | 30.60 | 54.015 | 30.59 | 30.5965 |
| 5 | 53.95 | 30.57 | 53.984 | 30.58 | 54.048 | 30.60 | 54.023 | 30.60 | 54.066 | 30.61 | 30.5921 |
| 6 | 54 | 30.59 | 54.012 | 30.59 | 53.951 | 30.58 | 53.978 | 30.58 | 54.002 | 30.59 | 30.5897 |
| 7 | 54.15 | 30.63 | 54.147 | 30.63 | 54.103 | 30.62 | 54.077 | 30.61 | 54.097 | 30.62 | 30.6220 |

表43 均匀性测试（60m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第1组 | | 第2组 | | 第3组 | | 第4组 | | 第5组 | |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速  (m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测  风速(m/s) |
| 1 | 209.51 | 60.25 | 209.482 | 60.25 | 209.307 | 60.22 | 209.206 | 60.21 | 209.13 | 60.20 |
| 2 | 208.73 | 60.14 | 208.983 | 60.18 | 208.945 | 60.17 | 208.729 | 60.14 | 208.635 | 60.13 |
| 3 | 208.92 | 60.17 | 208.673 | 60.13 | 208.621 | 60.12 | 208.568 | 60.12 | 208.796 | 60.15 |
| 4 | 208.62 | 60.12 | 208.412 | 60.09 | 208.18 | 60.06 | 208.282 | 60.07 | 208.465 | 60.10 |
| 5 | 207.91 | 60.02 | 207.996 | 60.03 | 208.238 | 60.07 | 208.453 | 60.10 | 208.279 | 60.07 |
| 6 | 207.86 | 60.01 | 207.736 | 60.00 | 207.533 | 59.97 | 207.508 | 59.96 | 207.537 | 59.97 |
| 7 | 207.42 | 59.95 | 207.588 | 59.97 | 207.582 | 59.97 | 207.413 | 59.95 | 207.194 | 59.92 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试序列 | 第6组 | | 第7组 | | 第8组 | | 第9组 | | 第10组 | |  |  |
| 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 209.317 | 60.22 | 209.448 | 60.24 | 209.384 | 60.23 | 209.211 | 60.21 | 209.009 | 60.18 | 60.2215 | 0.0023 |
| 2 | 208.696 | 60.13 | 208.837 | 60.15 | 208.944 | 60.17 | 208.698 | 60.13 | 208.536 | 60.11 | 60.1457 |
| 3 | 208.805 | 60.15 | 208.732 | 60.14 | 208.619 | 60.12 | 208.558 | 60.11 | 208.787 | 60.15 | 60.1363 |
| 4 | 208.56 | 60.11 | 208.557 | 60.11 | 208.155 | 60.06 | 208.108 | 60.05 | 208.272 | 60.07 | 60.0863 |
| 5 | 207.919 | 60.02 | 207.86 | 60.01 | 208.071 | 60.04 | 208.275 | 60.07 | 208.191 | 60.06 | 60.0513 |
| 6 | 207.806 | 60.01 | 207.988 | 60.03 | 207.745 | 60.00 | 207.662 | 59.99 | 207.482 | 59.96 | 59.9888 |
| 7 | 207.302 | 59.93 | 207.573 | 59.97 | 207.576 | 59.97 | 207.393 | 59.95 | 207.126 | 59.91 | 59.9500 |

**（二）验证结果**

根据4种风洞的测试数据来看，各测试点的误差均在最大允许误差范围内，所测指标能满足风洞试验段均匀性不大于1%的要求。

根据JJF1094-2002《测量仪器特性评定》，对本次试验的测量结果及不确定度进行验证，合格判据为：

a) ；

b) ≤-。

以WZ860070-E型70m/s直路低速风洞（杭州佐格通信设备有限公司）测试数据为例，数据不确定度验证信息如表44所示。

表44 不确定度验证信息表

| 测试点 |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 2 | 1.0% | 0.32% | 0.33% |
| 40 | 1.0% | 0.14% | 0.33% |
| 60 | 1.0% | 0.20% | 0.33% |
| 合格判据 | |  | |
| 验证结果 | | 合格 | |

通过表44可知，用a）判据对本次测量的扩展不确定度进行评定，测试点均匀性测量不确定度均小于最大允许误差绝对值的。通过对试验结果数据分析及不确定度进行评定，可确定本规范提供的测试方法合理适用。

# 4.轴向流速梯度试验

目前，常规的气象低速风洞主要分为闭口回路风洞和开口直路风洞两种，闭口回路风洞试验段区域内流场比较均匀，风速的轴向衰减可以忽略不计，再结合试验段的开孔位置，测量仪器一般固定安装于试验段的中心位置。直路开口风洞试验段区域内风速的轴向衰减比较明显，必须首先测量出有效试验区域后才能确定仪器的安装位置。

**4.1 试验结果**

以杭州佐格通信设备有限公司70m/s直路开口风洞为例。该类型风洞试验段区域内风速的轴向衰减比较明显，必须首先测量出有效试验区域后才能确定仪器的安装位置。该风洞试验段为开口状态，其喷口直径为600mm，试验段长度为1000mm。为测量出有效试验区域，选用型号为 NPL 的标准皮托静压管在20m/s 的风速下，沿试验段中心轴线方向每隔50mm进行轴向风速的测量，具体数据见表45：

表45 直路开口风洞有效试验区域测量

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 距喷口距离 | 距喷口0mm | | 距喷口50mm | | 距喷口100mm | | 距喷口150mm | |
| 测试序列 | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 53.827 | 29.30 | 53.994 | 29.34 | 54.264 | 29.42 | 54.346 | 29.44 |
| 2 | 53.952 | 29.33 | 54.052 | 29.36 | 54.259 | 29.42 | 54.189 | 29.40 |
| 3 | 53.932 | 29.33 | 53.889 | 29.32 | 54.175 | 29.39 | 54.320 | 29.43 |
| 4 | 53.738 | 29.27 | 54.242 | 29.41 | 54.123 | 29.38 | 54.071 | 29.37 |
| 5 | 53.962 | 29.33 | 54.316 | 29.43 | 54.147 | 29.39 | 54.226 | 29.41 |
| 6 | 53.802 | 29.29 | 54.297 | 29.43 | 54.133 | 29.38 | 54.426 | 29.46 |
| 7 | 54.302 | 29.43 | 54.118 | 29.38 | 54.049 | 29.36 | 54.245 | 29.41 |
| 8 | 53.894 | 29.32 | 54.134 | 29.38 | 54.135 | 29.38 | 54.258 | 29.42 |
| 9 | 53.878 | 29.31 | 54.199 | 29.40 | 54.233 | 29.41 | 54.334 | 29.41 |
| 10 | 53.779 | 29.29 | 54.122 | 29.38 | 54.097 | 29.37 | 54.423 | 29.46 |
| 11 | 53.841 | 29.30 | 54.317 | 29.43 | 54.072 | 29.37 | 54.233 | 29.41 |
| 12 | 54.033 | 29.35 | 54.342 | 29.44 | 54.248 | 29.41 | 54.217 | 29.40 |
| 平均值 | 53.912 | 29.32 | 54.169 | 29.39 | 54.161 | 29.39 | 54.274 | 29.42 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 距喷口距离 | 距喷口200mm | | 距喷口250mm | | 距喷口300mm | | 距喷口350mm | |
| 测试序列 | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 54.595 | 29.51 | 54.369 | 29.45 | 54.211 | 29.40 | 54.340 | 29.44 |
| 2 | 54.404 | 29.46 | 54.399 | 29.45 | 54.112 | 29.38 | 54.440 | 29.47 |
| 3 | 54.389 | 29.45 | 54.292 | 29.43 | 54.415 | 29.46 | 54.418 | 29.46 |
| 4 | 54.421 | 29.46 | 54.393 | 29.45 | 54.220 | 29.41 | 54.284 | 29.42 |
| 5 | 54.344 | 29.44 | 54.535 | 29.49 | 54.381 | 29.45 | 54.629 | 29.52 |
| 6 | 54.147 | 29.39 | 54.142 | 29.38 | 54.276 | 29.42 | 54.498 | 29.48 |
| 7 | 54.271 | 29.42 | 54.238 | 29.41 | 54.184 | 29.40 | 54.422 | 29.46 |
| 8 | 54.379 | 29.45 | 54.122 | 29.38 | 54.194 | 29.40 | 54.311 | 29.43 |
| 9 | 54.297 | 29.43 | 54.258 | 29.42 | 54.195 | 29.40 | 54.469 | 29.47 |
| 10 | 54.271 | 29.42 | 54.295 | 29.43 | 54.307 | 29.43 | 54.562 | 29.50 |
| 11 | 54.538 | 29.49 | 54.271 | 29.42 | 54.581 | 29.50 | 54.442 | 29.47 |
| 12 | 54.316 | 29.43 | 54.216 | 29.40 | 54.299 | 29.43 | 54.364 | 29.44 |
| 平均值 | 54.364 | 29.44 | 54.294 | 29.43 | 54.281 | 29.42 | 54.432 | 29.46 |
| 距喷口距离 | 距喷口400mm | | 距喷口450mm | | 距喷口500mm | | 距喷口550mm | |
| 测试序列 | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) | 微差压计读数(mmH2O) | 实测风速(m/s) |
| 1 | 54.079 | 29.37 | 54.079 | 29.37 | 53.957 | 29.33 | 53.148 | 29.11 |
| 2 | 54.142 | 29.38 | 53.967 | 29.34 | 53.681 | 29.26 | 53.063 | 29.09 |
| 3 | 54.142 | 29.38 | 54.269 | 29.42 | 53.423 | 29.19 | 53.176 | 29.12 |
| 4 | 54.172 | 29.39 | 54.239 | 29.41 | 53.605 | 29.24 | 52.998 | 29.07 |
| 5 | 54.025 | 29.35 | 54.074 | 29.37 | 53.514 | 29.21 | 53.239 | 29.14 |
| 6 | 54.148 | 29.39 | 54.076 | 29.37 | 53.538 | 29.22 | 52.972 | 29.07 |
| 7 | 53.981 | 29.34 | 53.945 | 29.33 | 53.627 | 29.24 | 53.120 | 29.11 |
| 8 | 54.438 | 29.46 | 53.895 | 29.32 | 53.613 | 29.24 | 53.095 | 29.10 |
| 9 | 54.143 | 29.38 | 54.057 | 29.36 | 53.777 | 29.29 | 53.243 | 29.14 |
| 10 | 54.216 | 29.40 | 53.888 | 29.32 | 53.799 | 29.29 | 52.936 | 29.06 |
| 11 | 54.323 | 29.43 | 54.081 | 29.37 | 53.848 | 29.30 | 52.998 | 29.07 |
| 12 | 54.235 | 29.41 | 53.878 | 29.31 | 53.678 | 29.26 | 52.837 | 29.03 |
| 平均值 | 54.17 | 29.39 | 54.037 | 29.36 | 53.672 | 29.26 | 53.069 | 29.09 |

**4.2 结果分析**

各点的轴向流速梯度值如表46所示。结果表明，据喷口0mm以外测点的流速存在波动，所测点在550mm处存在明显衰减，其他均满足要求。

表46 轴向流速梯度值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 距喷口距离（mm） | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 |
| （%） | 0.24 | 0.24 | 0.34 | 0.41 | 0.38 | 0.34 | 0.48 | 0.24 | 0.14 | 0.20 | 0.89 |

# 5.温升试验

将温度测量仪器安装在风洞试验段内。选取型号DZS-II的40m/s直路低速风洞（湖北省气象计量检定站）、QXFD-70H的70m/s回路低速风洞（国家气象计量站）、WZ860070-E型70m/s直路低速风洞（杭州佐格通信设备有限公司）分别进行气温升测试试验验证。

**5.1 试验结果**

**5.1.1 40m/s直路低速风洞**

温升测试如表47所示。

表47 温升测试表

|  |  |
| --- | --- |
| **读取时间** | **温度（℃）** |
| 温度计的初始示值（℃） | 19.3 |
| 5min后温度计的示值（℃） | 19.5 |
| 10min后温度计的示值（℃） | 19.7 |
| **温升（℃）** | 0.4 |

**5.1.2 70m/s回路低速风洞**

温升测试如表48所示。

表48 温升测试表

|  |  |
| --- | --- |
| **读取时间** | **温度（℃）** |
| 温度计的初始示值（℃） | 22.1 |
| 5min后温度计的示值（℃） | 22.7 |
| 10min后温度计的示值（℃） | 22.9 |
| **温升（℃）** | 0.8 |

**5.1.3 70m/s直路低速风洞**

温升测试如表49所示：

表49 温升测试表

|  |  |
| --- | --- |
| **读取时间** | **温度（℃）** |
| 温度计的初始示值（℃） | 14.8 |
| 5min后温度计的示值（℃） | 14.8 |
| 10min后温度计的示值（℃） | 14.8 |
| **温升（℃）** | 0.0 |

**5.2 结果分析**

通过试验结果可以表明，该方法科学合理，所测指标均能满足温升值不大于5°C的技术要求。

# 6.噪声试验

将声级计放置在距洞体外50 cm噪声最大的位置，使流速逐渐上升至风洞上限流速，记录声级计所测得的最大噪音值。选取型号DHS-500×500/830×830-Ⅷ的50m/s回路低速风洞（广西壮族自治区计量检测研究院）、EDE14 A2的30m/s直路低速风洞（苏州市吴江区检验检测中心（苏州市吴江区计量测试所））、QXFD-Ι型的70m/s回路低速风洞（山东省气象局大气探测技术保障中心）、WZ860070-E型70m/s直路低速风洞（杭州佐格通信设备有限公司）分别进行气噪声测试试验验证。

**6.1试验验证**

**6.1.1 50m/s回路低速风洞**

广西壮族自治区计量检测研究院配备的风洞为50m/s直路低速风洞，其噪声测试如表50所示：

表50 噪声测试表

|  |  |
| --- | --- |
| 检测位置 | 噪音（db） |
| 试验段1 | 82.5 |
| 试验段2 | 81.1 |
| 电机 | 83.4 |
| 工作台 | 78.1 |
| **噪音最大值（db）** | **83.4** |

**6.1.2 70m/s直路低速风洞**

苏州市吴江区检验检测中心（苏州市吴江区计量测试所）配备的风洞为30m/s直路低速风洞，其噪声测试如表51所示：

表51 噪声测试表

|  |  |
| --- | --- |
| 检测位置 | 噪音（db） |
| 试验段2 | 96 |
| 电机 | 95.8 |
| 工作台 | 94.7 |
| **噪音最大值（db）** | 96 |

**6.1.3 70m/s回路低速风洞**

山东省气象局大气探测技术保障中心配备的风洞为70m/s回路低速风洞，其噪声测试如表52所示：

表52 噪声测试表

|  |  |
| --- | --- |
| 检测位置 | 噪音（db） |
| 试验段1 | 90.2 |
| 试验段2 | 89.5 |
| 电机 | 87.9 |
| 工作台 | 66.5 |
| **噪音最大值（db）** | 90.2 |

**6.1.4 70m/s直路低速风洞**

70m/s直路低速风洞，其噪声测试如表53所示：

表53 噪声测试表

|  |  |
| --- | --- |
| 检测位置 | 噪音（db） |
| 试验段1 | 103.6 |
| 电机 | 105.2 |
| 工作台 | 103.4 |
| **噪音最大值（db）** | 105.2 |

**6.2验证结果**

风洞技术条件中规定风洞在流速范围内运行的最大噪声应小于85dB，通过上述试验结果可以表明，多数风洞在流速达到上限时，其噪声都会超过85dB，所以风洞技术条件中关于噪声的条件限制是不合理的。根据实际数据分析，建议风洞最大噪声应小于105dB。

# 试验结论

经试验，本规范规定的被校风洞适用范围和计量性能合理，选用的计量标准设备科学经济，测试条件规定正确，测试项目和测试方法科学合理，测试结果准确可靠。