

地面风场风速测量标准装置性能测试分析

陈凤贵¹, 刘克华², 姜明波¹, 徐燕¹, 张旭¹, 马俊平³

(1. 北京应用气象研究所, 北京 100029; 2. 中国人民解放军94683部队, 福建 晋江 362001;
3. 中航工业气动院, 哈尔滨 150001)

摘要: 针对地面风场风速测量标准装置应用需求, 对风速测量标准装置试验段流场的稳定度、气流湍流度、气流偏角、风洞噪声等主要性能指标开展了逐个测试, 并对测试结果进行了分析研究, 结果表明主要性能指标满足设计和应用要求。

关键词: 风速; 标准装置; 测试

中图分类号: P414.7 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)02-0009-05

Performance Test Analysis of Wind Speed Measuring Standard Equipment in Surface Wind Fields

CHEN Feng-gui¹, LIU Ke-hua², JIANG Ming-bo¹, XU Yan¹, ZHANG Xu¹, MA Jun-ping³

(1. Beijing Institute of Applied Meteorology, Beijing 100029, China;

2. Unit 94683 of PLA, Jinjiang 362001, China;

3. Industrial Air Dynamics Academy of Chinese Aeronautics, Harbin 150001, China)

Abstract: According to the application requirements of wind speed measuring equipment in surface wind fields, the main performance indexes of wind speed measuring standard equipment, flow stability, flow turbulence, flow drift angle and wind tunnel noise, were tested one by one in testing phase and the test results were analyzed. It was proved that the main performance indexes meet the design demands.

Key words: wind speed; standard equipment; testing

地面气象风速测量标准装置主要应用于对下一级风速测量标准装置的量值传递, 以及为气象测风仪器装备研制提供风场试验环境, 开展测风和抗风试验。为此, 要求风速测量标准装置能够提供高稳

定、高均匀、可连续调节的优质风场, 这就需要对所研发的高标准、高精度地面风速测量标准装置进行性能测试, 评估其性能质量是否达到设计和使用要求。文中主要测试了地面气象风速测量标准装置的

收稿日期: 2012-10-16

作者简介: 陈凤贵(1967—), 男, 河南卫辉人, 硕士, 工程师, 主要从事气象水文装备论证研究。

性能。

1 地面风场风速测量标准装置

1.1 组成和功能

地面风场风速测量标准装置主要由气象风洞洞体分系统、动力分系统、测控及数据采集处理分系统、标准风速测量分系统、试验段视频监控分系统和环境要素测量分系统等组成,主要用于下一级风速测量标准装置的皮托静压管、微差压计与标准风速传感器等的量值传递,及气象风速测量仪器的测试和被试设备的抗风试验。

1.2 工作流程

地面风场风速测量标准装置中动力分系统的电机驱动风扇产生风洞气流,通过测控及数据采集处理分系统中的测控、调速、稳速装置,调节气流的速度;由安装在风洞试验段的标准风速测量分系统、环境要素测量分系统、视频监控分系统实时测量大气压力、环境温湿度值和试验段内的温湿度值、视频图像;由数据采集与处理分系统计算测得标准风速值并显示视频图像等。基本工作流程如图1所示。

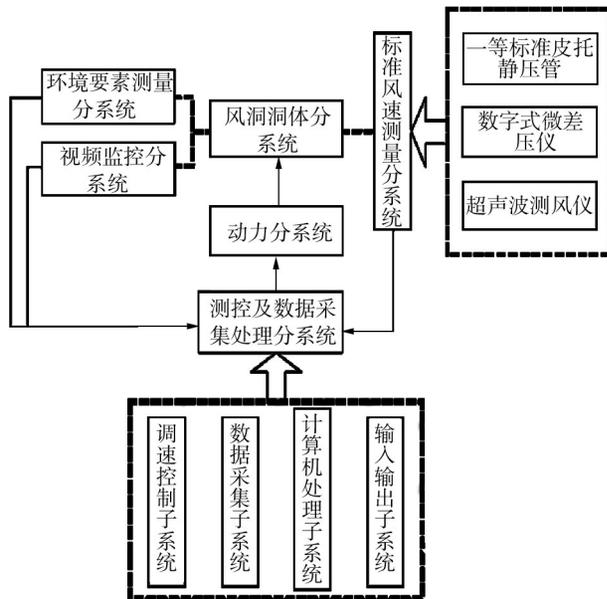


图1 地面风场风速测量标准装置工作流程

Fig. 1 The workflow of wind speed measuring standard equipment in surface wind fields

2 主要设计指标

试验段流场性能指标要求为:气流稳定性(1 min)高于±0.4%(相对误差);试验段流场不均匀性小于±0.4%(相对误差);试验段气流紊流度小于0.4%(相对误差);气流偏角小于0.8°;噪声小于85 dB。

3 性能测试

3.1 气流稳定度测试

在试验段中心安装一标准皮托静压管,设置风洞风速分别为5,25,40 m/s。每个风速点稳定后连续采集1 min,采集次数不得少于120次,每个风速点的气流稳定度计算见式(1)。

$$\eta = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max} + q_{min}} \quad (1)$$

式中: q_{max} 为1 min内最大动压值,Pa; q_{min} 为1 min内最小动压值,Pa。

测试结果见表1,测试结果表明,动压稳定度小于0.4%,符合设计指标要求。

表1 试验段气流稳定性测试结果
Table 1 Testing results of flow stability in testing phase

风速/(m · s ⁻¹)	5	25	40
稳定性	0.003 38	0.000 84	0.000 16

3.2 试验段流场不均匀性测试

3.2.1 轴向静压梯度

在试验段全长范围内,沿试验段中心线选择4个测量点,风速分别为5,10,15,20,25,30,35,40 m/s。要求试验区内,轴向静压梯度小于0.4%。

测试结果见表2,静压梯度小于0.4%,其结果符合设计指标要求。

3.2.2 动压场系数

在风洞试验段内选取5个截面,其中试验区内3个截面,模型区前1个截面,模型区后1个截面,每个截面测试9个点,截面测试点位置如图2所示。

表2 试验段轴向静压梯度测试结果

Table 2 Testing results of axial static pressure gradient in testing phase

风速/(m·s ⁻¹)	4.47	9.54	14.72	19.95	25.17	30.45	35.74	41.03
静压梯度/(10 ⁻³ Pa)	1.02	1.51	3.08	3.37	1.63	0.16	0.09	0.11

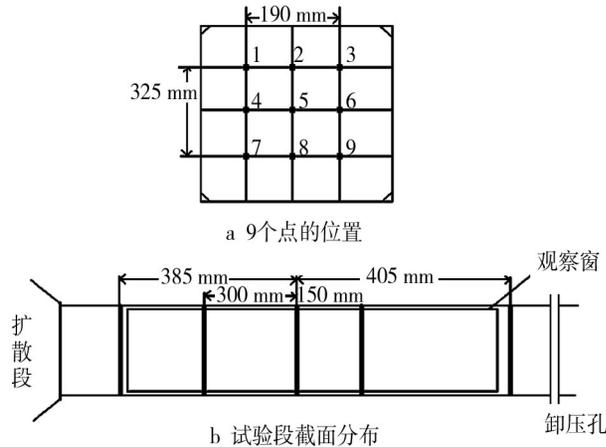


图2 试验段截面和截面上测点分布

Fig. 2 The cross section and testing points distribution in testing phase

设置风洞风速分别为 15, 25, 40 m/s, 使用皮托静压管测量各测试点的动压值, 动压场系数计算见式(2)。

$$\mu_i = \frac{q_i - \bar{q}}{\bar{q}} \quad (2)$$

式中: μ_i 为第 i 点动压场系数; q_i 为第 i 点的动压; \bar{q} 为单个截面内动压的平均值, $\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$, 此处 $n=9$ 。

风速测量标准装置风洞洞体 1—5 号截面动压场测试结果见表 3、表 4, 动压系数的绝对值小于 0.4%, 测试结果符合设计指标要求。

3.3 气流湍流度测试

气流湍流度测试使用热线风速仪, 按照 GJB 1179—1991 规定要求进行测试。

试验段气流湍流度测试结果见表 5, 测试结果表明, 气流湍流度小于 0.4%, 达到了设计指标要求。

3.4 气流偏角测试

设定风洞内风速值为 30.6 m/s, 选取动压场系数

表3 试验段截面1—4动压场系数测试结果

Table 3 Testing results of dynamical pressure gradient coefficients in testing phase 1—4

测点	风速/(m·s ⁻¹)			
	14.7	25.3	35.9	
1号截面	1	-0.002 30	0.001 3	-0.000 36
	2	-0.002 84	0.003 07	0.003 75
	3	0.001 32	0.002 97	0.006 05
	4	-0.001 64	-0.004 00	-0.003 41
	5	0.000 61	-0.001 43	0.001 94
	6	0.003 56	0.001 84	0.002 59
	7	-0.001 58	-0.003 33	-0.004 41
	8	0.002 22	0.000 81	-0.001 48
	9	0.000 66	-0.000 66	-0.003 66
2号截面	1	0.001 39	0.002 44	0.001 17
	2	0.000 61	0.002 43	0.000 15
	3	-0.000 69	0.003 38	0.001 95
	4	0.000 91	-0.001 9	-0.000 82
	5	0.003 15	0.003 23	0.002 76
	6	-0.001 63	-0.000 75	0.000 14
	7	-0.001 31	-0.004 00	-0.003 91
	8	-0.000 51	-0.001 03	-0.000 05
	9	-0.001 93	-0.003 31	-0.001 4
3号截面	1	-0.000 38	-0.000 01	0.000 12
	2	-0.000 62	-0.002 9	-0.002 53
	3	0.001 99	0.001 69	0.001 81
	4	0.001 6	0.001 13	-0.000 48
	5	0.001 69	0.002 75	0.003 36
	6	-0.003 02	0.000 38	0.001 06
	7	0.000 39	-0.000 49	-0.001 58
	8	-0.002 51	-0.002 13	-0.002 07
	9	0.000 85	-0.000 41	0.000 32
4号截面	1	-0.002 3	-0.002 26	-0.000 23
	2	0.001 92	0.001 22	0.000 18
	3	0.004 23	0.001 22	0.000 7
	4	-0.000 78	0.000 62	0.000 11
	5	0.000 22	0.001 41	-0.000 47
	6	0.004 29	-0.000 62	0.000 13
	7	-0.001 54	-0.001 17	0.000 1
	8	-0.003 76	0.000 41	-0.000 91
	9	-0.002 28	-0.000 82	0.000 39

表4 试验段截面5动压场系数测试结果

Table 4 Testing results of dynamical pressure gradient coefficients in testing phase 5

测点	风速/(m·s ⁻¹)		
	14.7	25.3	35.9
1	0.002 49	-0.003 33	-0.001 45
2	0.002 88	0.001 26	0.000 53
3	-0.002 8	-0.003 67	-0.000 16
5号截面	4	0.000 81	0.000 41
	5	0.000 5	0.001 15
	6	0.001 82	0.001 57
	7	-0.004 67	0.001 67
	8	-0.001 53	0.001 7
	9	0.000 05	0.001 24

测试中的2号、3号及4号截面作为气流偏角的测试截面,使用方向仪测量测试截面各点的压差系数,根据方向仪校准曲线分别得出铅垂面和水平面内的局部气流偏角。风洞试验段各截面气流偏角测试结果见表6。从表6中看出,气流偏角最大为0.289°,小于0.8°的设计值,测试结果符合设计指标要求。

3.5 噪声测试

在风洞内选择3个点,A位于风洞第一拐角,B位于距试验段中心线600 mm处,C位于风洞第四拐角。设置风洞风速值分别为20,30,35,36,37,38,39,40 m/s,采用噪音计进行测试,测试结果见表7。最大噪声为79.1 dB,远小于85 dB的设计值,达到了

表5 试验段气流湍流度测试结果

Table 5 Testing results of flow turbulence in testing phase

2号界面平均	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.931	10.524	19.933	29.50	39.54
	湍流度/%	0.3665	0.2338	0.1227	0.1249	0.2902
4号界面平均	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.667	10.31	19.91	29.65	39.51
	湍流度/%	0.3938	0.2523	0.1688	0.1444	0.1990
3号界面测点1	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.895	10.501	19.853	28.543	37.84
	湍流度/%	0.3716	0.2341	0.1411	0.1122	0.3884
3号界面测点2	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.983	10.626	20.042	28.790	37.89
	湍流度/%	0.3890	0.2176	0.0949	0.1723	0.2981
3号界面测点3	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.751	10.303	19.860	27.31	37.60
	湍流度/%	0.3474	0.1295	0.1382	0.1580	0.4486
3号界面测点4	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.643	10.27	19.79	29.62	39.63
	湍流度/%	0.3969	0.2308	0.1728	0.1671	0.1517
3号界面测点5	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.663	10.29	19.81	29.73	39.89
	湍流度/%	0.3907	0.2271	0.1686	0.1863	0.2546
3号界面测点6	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.944	10.620	20.223	29.123	39.45
	湍流度/%	0.3281	0.1681	0.1327	0.1398	0.1435
3号界面测点7	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.879	10.539	19.999	28.943	35.85
	湍流度/%	0.2749	0.2068	0.1333	0.1688	1.698
3号界面测点8	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.962	10.601	20.043	28.567	38.93
	湍流度/%	0.3109	0.1278	0.1045	0.0739	0.3348
3号界面测点9	平均速度/(m·s ⁻¹)	4.900	10.548	20.016	28.761	38.54
	湍流度/%	0.3709	0.1330	0.1476	0.1262	0.3232

设计指标要求。

3.6 测试结论

从测试结果可以看出,试验段流场气流湍流度、

流场不均匀性、气流偏角以及噪声等重要性能指标全部符合设计要求,部分指标值优于设计值。因此,地面风速测量标准装置的性能满足设计要求。

表6 截面气流偏角测试结果

Fig. 6 Testing results of flow drift angle at the cross section

测点	角度/(°)		测点	角度/(°)		测点	角度/(°)				
	攻角	侧滑角		攻角	侧滑角		攻角	侧滑角			
1	-0.165	-0.230	1	-0.173	-0.204	1	-0.183	-0.160			
2	-0.165	-0.263	2	-0.214	-0.157	2	-0.242	-0.229			
3	-0.170	-0.241	3	-0.148	-0.164	3	-0.118	-0.238			
2号截面	4	-0.142	-0.194	3号截面	4	-0.128	-0.203	4号截面	4	-0.183	-0.170
	5	-0.175	-0.289		5	-0.211	-0.147		5	-0.248	-0.158
	6	-0.162	-0.217		6	-0.186	-0.166		6	-0.230	-0.118
	7	-0.131	-0.120		7	-0.134	-0.096		7	-0.182	-0.138
	8	-0.163	-0.220		8	-0.188	-0.084		8	-0.261	-0.211
	9	-0.179	-0.248		9	-0.229	-0.163		9	-0.263	-0.067

表7 风洞噪音测试结果

Fig. 7 Testing results of wind tunnel noise

A	风速/(m · s ⁻¹)	20	30	35	36	37	38	39	40
	噪声/dB	55.3	61.5	69.5	71.2	73	75.6	78.8	76.8
B	风速/(m · s ⁻¹)	20	30	35	36	37	38	39	40
	噪声/dB	56.3	63.8	75.7	79.1	76.2	74.5	79.0	74.6
C	风速/(m · s ⁻¹)	20	30	35	36	37	38	39	40
	噪声/dB	55.2	60.0	70.2	76.4	67.5	69.5	74.3	73.5

4 结语

地面风速测量标准装置的设计和研制,可为开展新型风速测量传感器计量测试和研究提供可靠的试验手段;可为开展气象风洞的测试方法与风速测量仪器检定方法研究,以及编制风速测量仪器的检定规程奠定基础;为新型测风仪器的研制提供测试环境,为抗风试验提供服务。

参考文献:

[1] 总装军事训练教材编委会. 高低速风洞气动与结构设计

[M]. 北京:国防工业出版社,2003.

[2] 伍荣林. 风洞设计原理[M]. 北京:北京航空学院出版社, 1985.
 [3] GJB 1179—1991, 高速风洞和低速风洞流场品质规范[S].
 [4] 华绍曾, 杨学宁. 实用流体阻力手册[M]. 北京:国防工业出版社, 1985.
 [5] 北京应用气象研究所. 高级风速标准装置技术报告[R]. 北京:北京应用气象研究所, 2009.
 [6] 马福民. 装备试验分析研究与管理监督[J]. 装备环境工程, 2012, 9(4): 64—65.