

空调风机性能自动测试系统研制*

上海理工大学 杨树柏 陈康民 茅忠明 殷忠民
上海哈格诺克冷气机有限公司 西默顿 朱家骥

摘要 介绍了新研制成功的空调风机性能自动测试系统的设计、研制情况。

关键词 通风机 测试 风室 空调

1 前言

在列车空调机组中,风机的静压效率、最大流量及噪声性能等指标直接影响到整机性能,风机性能的控制对机组的性能稳定具有决定性的影响。为此,上海哈格诺克冷气机有限公司委托上海理工大学研制建立一套空调风机性能自动测试系统,用以对列车空调机组中所使用的各种型号风机进行性能验收试验。

该测试系统需要测试的风机包括七号以下的轴流风机(冷凝器散热风机)及四号以下的双进风前弯多叶离心风机(蒸发器换热风机)多种。风机性能参数范围:流量 $Q = 300 \sim 13000 \text{ m}^3/\text{h}$;静压 $P_{st} = 0 \sim 800 \text{ Pa}$;功率 $N = 0 \sim 3000 \text{ W}$ 。研制中,以 ISO 5801 国际标准、GB1236 - 85 国家标准以及 GB/T2888 - 91 国家标准为依据^[1~3],参照 AM-CA210 - 85、DIN24163 - 2 和 JIS B8330 等多国标准,研制成功矩形截面出口侧试验风室及总体装置。

2 系统设计

2.1 风室系统

在空调机组中,风机均在排气口接管道,吹式使用。根据风机的使用方式和性能测试装置的通用性,采用出口侧试验风室装置。为适应各种风机不同流量测量,采用在风室中布置多喷嘴的流量测量方法。总体装置由试验风机、风室本体、流量调节阀、辅助风机、各种传感器及其相应的显示仪表、控制台、计算机及打印机等组成,见图1。

根据 ISO5801,出口侧风室横截面积至少为轴流风机出口面积的16倍,因此确定风室内部有效尺寸为 $2.5 \times 2.5 \text{ m}$ 的正方形。风机旋转轴离地面高度 1.5 m ,内部有效总长 6 m 。

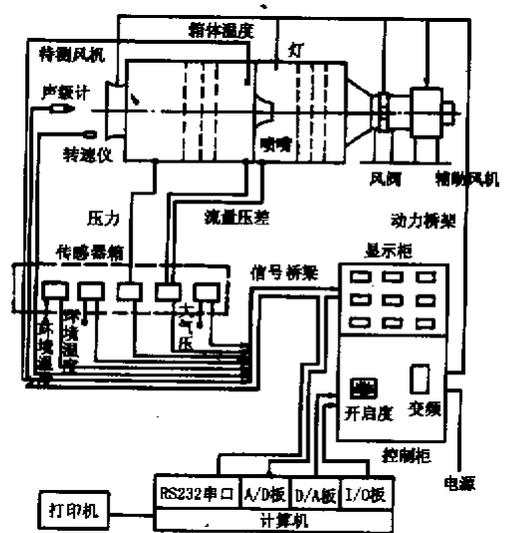


图1 测试系统

为达到流量测量范围 $300 \sim 13000 \text{ m}^3/\text{h}$ 要求,选用符合 AMCA 标准的长径低比率椭圆母线喷嘴,出口喉部直径为 0.1 m 的选用2只, 0.15 m 的选用6只。喷嘴的不同组合可适应不同被测风机的测试要求,见表1。

在风室测量喷嘴前后各布置一套整流网,用于控制风室气流的均匀性及吸收喷嘴的动能,每套由穿孔率分别为 60% 、 50% 、 45% 的三层整流孔板构成,整流孔板均由不锈钢板在专用设备上穿孔而成。孔板由轻钢管骨架支撑,钢管骨架迎风

面最大阻挡尺度小于风室当量直径的 0.5%。

表 1 不同喷嘴组合最佳流量范围

序号	喷嘴组合(出口喉部直径×只数)	最佳流量测量范围 ^① (m ³ /h)	适宜测量的风机型号
1	D0.1×1	424~990	
2	D0.15×1	954~2227	
3	D0.15×2	1908~4454	LKI-168
4	D0.15×3	2862~6681	DF2.8A VI-B
5	D0.15×4	3816~8908	DF2.8A III
6	D0.15×5	4770~11135	
7	D0.15×6	5724~13362	KT58-6A II
8	D0.15×6+D0.1×2	6572~15342	KT58-7A II

注 ①喷嘴出口流速为 15~35m/s。

辅助风机用于克服管路损失,使试验的风机测量到所需要的流量。选用的辅助风机为特制的离心式机翼形叶轮 6# 风机,在 1450r/min 时,流量达 13300m³/h,静压为 550Pa,实耗内功率 3kW。辅助风机由德产 ABB 变频驱动,而由工控机中的 D/A 输出接口控制变频器(最大可输出 60Hz,以加大辅助风机流量)。

通过流量调节风阀改变风机试验的工况点,从而可得到试验风机的特性曲线。选用德国造电控自动风阀,开闭可由手动调节旋钮或由计算机 D/A 控制实现。在试验中与辅助风机配合使用,调节被测风机流量自“零”至“零静压流量”为止。对风阀调节的定位精度、开启度复现性、时间响应、阻力系数等性能进行了试验。试验表明风阀定位复现性好,响应时间短,阻力曲线平坦,线性好。

2.2 信号采集与处理

信号采集包括压力、功率、电流、温度、湿度、转速及噪声等。

压力测量包括喷嘴前后的流量压差、风室静压和大气压测量,德国产压力传感器输出 0~20mA 直流信号;德国产高精度功率变送器,输出 0~20mA 直流信号;德国产高精度电流变送器,输出 0~20mA 直流信号;芬兰 VAISALA 湿度变送器输出 4~20mA 直流信号;温度测量包括环境温度与风机出口温度,采用德国产 Pt100 电阻及温度变送模块,输出 4~20mA 直流信号;转速测量采用国产光电转速传感器与转速变送显示仪,输出 4~20mA 直流信号,以上信号皆通过端子板与计算机 A/D 板相连。噪声测量是将声级计测量之信号处理后,经 RS232 接至计算机串行口。

工业控制计算机采用 Pentium II 450 主板,内插 PCL-818 A/D 板(12 位)一块,用以采样信号。

PCL-726 D/A 板一块,用以控制变频器及调风阀开度。另外还有 PCLD-880 端子板及 PCLD-RMK-4u 端子箱。

风机动力性能计算结果包括实测计算、指定条件换算及无因次数据等。噪声计算包括实测噪声比 A 声级及指定条件噪声。计算处理的结果,通过 HP Laser 6L 打印输出。

2.3 噪声控制

标准 GB/T2888-91“风机和罗茨鼓风机噪声测量方法”中要求在消声环境下测量,其中最重要要求为距声源 1 倍和 2 倍标准长度处测量 A 声级之差应不小于 5dB(A)。而限于条件,试验室被测风机声场空间又很狭小,因此试验室必须做消声处理。

噪声控制包括风室降噪、辅助风机降噪和反射声场降噪。风室材料选用 75mm 厚夹芯彩色泡沫钢板,合理的结构设计使风室壁面的振动和反射噪声已降至最小。

为尽可能减少对被测风机噪声的影响,在辅助风机的进口与出口分别装设有筒形消声管道和弧形扩压消声管道(图 2)。经出厂验收实测,在上述工况下风机出口 1m 处测得噪声为 70dB(A),相应的 A 声级仅为 8.7dB(A)。

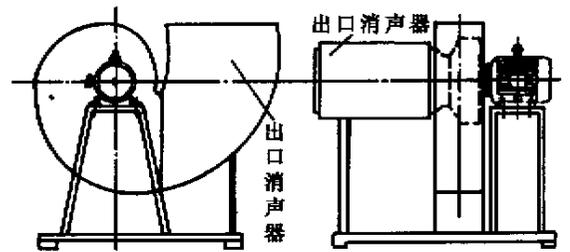


图 2 辅助风机

声级计所接受到的噪声信号包括声源直射声和环境反射声^[4]:

$$L_p - L_w = 10 \lg \left(\frac{1}{2\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

其中房间因子 R 为:

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

式中 S ——声空间墙面总面积

$\bar{\alpha}$ ——墙面吸声系数

提高墙面的吸声系数 $\bar{\alpha}$ 将增大房间因子 R ,从而有效地控制环境反射噪声。根据 A 声级之

差应不小于 5dB 条件,计算得:

$$\bar{\alpha} = \frac{R}{R+S} \geq 77\%$$

即墙壁应选用吸声系数不小于 77% 的吸声材料。因此,试验室内测试风机声场区域反射表面全部粘贴了聚胺脂泡沫吸声板,泡沫板厚 50mm,表面有凸凹花纹,在标准混响室内,参照 GBJ47-83 测量,吸声系数超过 80%。

由于使用条件的限制,地面消声不可能采用挖坑铺丝网的方案。实际上地面铺加厚割绒地毯后,经过测定,声场已达到 GB/T2888-91 标准的要求。

2.4 软件与输出

测试系统软件用 Visual Basic 开发,具有良好的界面,操作者只需通过鼠标点击即可进行自动测试。在主界面上单击鼠标,即进入工作方式选择,包括自动、手动、手工输入三种方式。

确认工作方式后进入输入初始工况条件界面,键盘输入所有栏目或调用磁盘数据,则可以进入自动测试界面,自动测试一台风机约需 10min (不计安装时间)。测完后可进行结果计算并输出中文或英文报表。手动调节测试流程与自动调节相似,区别仅在于调风阀的开启度由人工手动调节。手工输入处理实质上是借用了本软件的计算处理和输出部分,可将外来数据进行处理,输出正规报表。

风机测试结果包括测试工况记录、计算结果(包括实测结果、指定条件换算结果及无因次系数)和风机性能曲线图(共有全压、静压、全压效率、静压效率、功率、噪声等 6 条曲线)。同时,可依据 Excel 的强大功能对曲线的坐标形状、颜色、比例、拟合特性等作调整,输出直观、清晰的风机性能曲线。

3 误差分析

由于上海哈格诺克冷气机有限公司空调机组产品必须达到 ISO 质量体系认证的要求,因此选用的测量仪表(包括计量仪表、显示仪表以及计算机采集处理各环节)全部进行了计量标定或校准。表 2 给出了各主要计量参数的标准要求和实际计量结果。

根据中国上海测试中心计量确认的结果,本装置的测量误差水平与 ISO 标准要求相比较,如

表 3 所示。

表 2 仪表精度计量结果

项 目	GB1236 要求 (%)	ISO5801 要求 (%)	实际精度
压力	± 0.2 (验收试验)	± 1.0 (1.5Pa)	小于 0.2 级(校准)
流量(压差)	± 0.2 (验收试验)	± 1.0 (1.5Pa)	小于 0.2 级(校准)
温度	± 0.5℃	± 0.5℃	0.25℃
湿度	(± 3℃温差)查表	± 2.0	± 1.7%
转速	± 0.25	± 0.25	1r/min(± 0.2)
功率	± 1.0	± 2.0	-0.09%
大气压	33Pa(0.25mmHg)	± 0.2 (100Pa)	0.14%
喷管面积		± 0.2	最大 0.14%
显示仪表			最大 0.2%
计算机采集			最大 -0.29%

表 3 测试误差

	ISO 要求 (%)	实际精度 (%)
流量	± 2.0	± 1.5
效率	± 3.2	± 2.1
环境密度		± 0.4
风机压力	± 1.4	± 1.4 (组合数据波动)
风机功率	± 2.5	± 0.2

因选用的测量仪表精度较高,测量仪表中关键的压力表测量误差如按 ± 1.4% (根据 ISO5801 建议,组合 1% 测压误差及 1% 数据波动)计,则计算结果的最大误差已达到 ISO5801 的要求。

4 系统计量确认

经中国上海测试中心计量确认,该系统设计符合 ISO5801 国际标准、GB1236-85 以及 GB/T2888-91 国家标准,可用于列车空调机组中流量范围为 300 ~ 13000m³/h 的各种型号风机的性能试验。

为确认测试系统的准确性和稳定性,进行了重复性试验和适用性试验。选取 KT58-7A II 轴流风机、40PQ 机组使用的 DF2.8A III 双速离心风机和 LKI 离心风机样机各 1 台,分别进行了不少于 6 次的重复性试验,其结果用相对实验标准偏差 S_r 来描述,如表 4 所示。试验结果 S_r 不大于 1.1% (包括被测风机的不稳定性在内)。

5 研制总结

风机产品的性能试验有多种标准可循,必须按照实际使用情况,选取最符合实际使用条件的标准。ISO5801 是国际上推荐使用的标准,是多国国家标准的归纳与综合。多年来我国风机行业遵循国家标准 GB1236-85,与 ISO5801 有一定区别。

经努力,本系统在风室结构与测量精度两方面都同时符合了国家标准与国际标准。

表 4 相对实验标准偏差

被测风机		KT58-7A II 轴流风机			DF2.8A III 离心风机			LKI 离心风机		
流量(m ³ /h)		4000	8000	12000	2000	4500	7000	450	650	850
重复性 S(%)	全压	0.3	0.6	0.7	0.5	0.8	0.5	0.7	0.2	0.4
	静压	0.3	0.7	1.0	0.5	1.0	0.8	0.7	0.2	0.5
	全压效率	0.7	1.0	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.4	0.6
	静压效率	1.1	1.1	0.5	0.7	0.9	1.0	0.8	0.5	0.7

内部多喷嘴结构大型风室的建造,在国内尚属起步阶段。本装置的研制成功,将对在我国推广 ISO5801 国际标准产生积极影响。我校曾与上海鼓风机厂、上海通用机厂、江苏申海集团等企业合作研制了多套大型风机性能自动测试系统^[5]。本次与上海哈格诺克冷气机有限公司合作,研制的彩钢板矩形风室,具有以下特点:

(1) 考虑到厂地面积小,风室设计力求简洁规整,正方形截面。室内多喷嘴更换组合方便。

(2) 考虑到测试的是空调用风机,对声场的降噪做了特殊处理,包括墙壁的吸声和辅助风机降噪。

(3) 考虑到使用者为非风机专业人员,操作软件的设计力求清晰明了,操作简便,自动化程度很高。

(4) 考虑到用户对 ISO 质量体系认证的要求,

所有计量、测试的仪表与设备,包括声场条件均达到或超过标准规定的精度要求。系统同时符合了国际、国内标准。

(5) 保留了足够的设备冗余和功率冗余,便于扩展。

参考文献

- 1 ISO/DIS 5801. Industrial Fans - Performance Testing Using Standardized Airways, 1993
- 2 GB 1236. 通风机空气动力性能试验方法
- 3 GB/T 2888-91. 风机和罗茨鼓风机噪声测量方法
- 4 方丹群. 噪声控制. 北京出版社, 1986
- 5 殷忠民, 茅忠明. 大型通风机性能自动测试装置的研制. 流体机械, 2000, 28(1): 3

作者简介 杨树柏,男,36岁,博士。通讯地址 200093 上海市军工路 516 号上海理工大学叶轮机械与流体工程研究所。

Air – conditioner Ventilator Performance Automatic Testing System

..... Yang Shubai et al (9)

Design , research and making of air – conditioner ventilator performance automatic testing system is introduced.

Keywords :ventilator or fan ,test ,chamber ,air – conditioner