Vol.43 No.1 January, 2017

doi:10.11857/j.issn.1674-5124.2017.01.029



基于强迫风冷的风道特性测试技术研究

张庆军,李丽丹,何 钊

(四川九洲电器集团有限责任公司,四川 绵阳 621000)

摘 要:强迫风冷设计中不当的风扇型号将导致电子设备的高温失效或不可逆损坏,而风扇型号的选取则直接由系统的阻力特性所决定,因此阻力特性曲线的确定成为强迫风冷设计的关键步骤。为准确、便捷地得到系统阻力特性曲线,基于风道特性测试理论搭建一套风道阻力特性测试系统,通过测量流经系统的空气流量及对应的压力损失得到系统的阻力系数,为风扇的型号选取提供依据。利用该测试系统测量多种分布形式机箱的阻力特性,结合理论和实验结果分析影响风道阻力特性的因素,总结其对阻力系数的影响关系和具体原理,为强迫风冷的风道设计提供参考。 关键词:流体力学;阻力特性;风道;强迫风冷

文献标志码:A 文章编号:1674-5124(2017)01-0140-05

The study on testing technology of wind tunnel property based on forced air cooling

ZHANG Qingjun, LI Lidan, HE Zhao (Sichuan Jiuzhou Electric Group Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: Improper fan will lead to high-temperature failure and irreversible damage of electronic devices in forced air cooling, and the type of fan is directly determined by the resistance characteristics of the system, therefore the calculation of resistance characteristics curve becomes a crucial step in the design of forced air cooling. In order to get the resistance characteristic curve of the electronic device accurately, easily and quickly, a system based on the testing theory of wind tunnel characteristic has been built in this paper. By measuring the volume of air flow through the system with the corresponding pressure loss can help us to obtain the curve of the device which can be used to select the appropriate fan. The paper also measured the resistance characteristics of various chassis by using this testing system and made analysis on the factors which have effect on the curve combine with the theoretical. In the end, the thesis makes a summary of the relationship between the factors and the drag coefficient which can provide the reference information for structure designers in duct design of forced air cooling.

Keywords: fluid dynamics; resistance characteristics; wind tunnel; air forced cooling

0 引 言

强迫风冷设计中关键的步骤在于系统风量的选 取,风量不足会引起元器件的温升过高,影响元器件 收稿日期:2016-06-10;收到修改稿日期:2016-08-02 作者简介:张庆军(1973-),男,四川绵阳市人,高级工程师, 硕士,主要从事电子设备结构设计。 寿命^[1];风量过多,不仅系统散热效果提升有限,亦会 引起能耗、设备体积与质量增加以及噪声过大等 问题^[2],因此适当风量的选取对于强迫风冷系统就变 得十分重要。真实工况下的系统风量受到以下两个 因素的影响:1)所选取风扇的性能曲线(*P-Q* 曲线); 2)系统的风道阻力特性曲线^[3]。前者可由风扇供货 厂家提供,后者则直接由所设计的机箱结构决定,本 文正是在以上基础上搭建了风道阻力测试系统用于 测量所设计机箱的阻力特性曲线,便于风冷设计中 的风扇选取。

现有的常用于计算风道阻力系数的方法有两种:1)采用理论公式结合经验值的方法进行计算;2)基于仿真的方法利用现有的仿真平台进行计算。前者公式复杂且某些系数只存在经验值,例如局部阻力系数 ε,当系统风道结构较为复杂时不仅会给设计人员带来繁琐的工作^[4-5],且引入的误差可能会累积、放大,最终导致风扇选型不正确。对于后者,现在常用的一些仿真平台包括 Icepak、Flotherm 和 Fluent 等,前两款软件虽操作简单,但是作为专业的热分析软件在处理流体问题时会简化大量的细节,数学模型也较简单,计算结果会存在较大的误差,只能用来对压力损失进行粗略的估计;而Fluent 作为专业的流体分析软件,在计算系统的压力损失时能获得较为精确的值,但同时该平台参数设置复杂,通常需要使用者具有丰富的流体力学和数值计算知识^[6]。

综上,本文根据风道阻力特性测试的相关理论搭 建了测试系统,利用该测试系统能够帮助热设计人 员快速获得系统的阻力特性曲线。

1 风道阻力特性测试理论

风道的阻力损失也即静压损失,在系统中常由两 部分引起,包括沿程压力损失和局部压力损失。其中 沿程压力损失¹⁷理论计算公式为

$$\Delta P_1 = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \nu^2}{2}, \quad D = \frac{4A}{S} = \frac{2hb}{h+b}$$
(1)
式中: λ ——沿程阻力系数;
 L ——风道长度,m;

- ρ----空气密度,kg/m³;
- ν——空气流速.m/s:

- A —— 风道截面积, m²:
- S——管道湿周周长,m;
- h,b——矩形管道的高和宽,m。

局部压力损失是当气体进入或离开风道或气流 路径上的风道截面发生突然变化以及风道出现转折 时能量损失所引起的¹⁸,其理论计算公式为

$$\Delta P_2 = \varepsilon \cdot \frac{\rho \nu^2}{2} \tag{2}$$

式中 ε 为局部阻力系数。

由此可知风道的压力损失 ΔP 为

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_{1i} + \sum_{j=1}^{m} \Delta P_{2j}$$
(3)

定义无量纲压力损失系数 k 为

$$k = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho \nu_{\rm in}^2} \tag{4}$$

因此只需通过实验测量出某一流量下的压力损 失和入口流速便可计算出压力损失系数 k。

2 测试系统搭建

由式(4)可知,要测量系统的阻力系数需要同时 知道流经系统的空气流速和对应的压力损失,据此搭 建了图1所示的测量系统。依据GB/T 12992—1991 《电子设备强迫风冷热特性测试方法》在实际测量中 分别在机箱前后布置16个测点,求其平均值以得到 准确的压降。供风设备选择了可调速离心风机,测量 时进行多组实验利用最小二乘法求阻力系数值。



1.离心风机;2.进风道;3.流量计;4.数字压力计; 5.皮托管;6.被测机箱;7.出风道。

图 1 风道阻力特性测试系统平台

3 风道阻力特性的测试

3.1 风道阻力特性测量方法

为削弱风道内的紊流现象,在出风道内安装多孔 结构的泡沫铜以达到稳流的效果^[9],在只安装泡沫铜 的情况下调节风机风速,获得 8 档风速下对应的流 量 *V*_i'与压力损失 Δ*P*_i',利用最小二乘法思想求此时 系统的阻力系数,即求得的 *k*'使式(5)得到最小值。

$$\sum_{i=1}^{8} \left\| \frac{k'}{2} \left(\frac{V_i'}{A} \right)^2 - \Delta P_i' \right\|^2$$
(5)

式中 $\Delta P_i'$ 、 V_i' 分别为相应风速下的静压差、流量。

同时安装泡沫铜和在机箱内安装模块时,在8档 风速下分别测量压降 ΔP_i 和流量 V_i ,求得 k 值使得 式(6)的值最小,即为该机箱的阻力系数。

$$\sum_{i=1}^{8} \left\| \frac{k}{2} \left(\frac{V_i}{A} \right)^2 + \frac{k'}{2} \left(\frac{V_i}{A} \right)^2 - \Delta P_i \right\|^2 \tag{6}$$

3.2 风道阻力特性测量结果及分析

本文共搭建了11种结构形式的风道,按照3.1节中的方法进行了阻力特性测试,部分模块分布如图2



图 2 部分方案模块(单位:mm)



图 3 各方案流量-压力损失曲线图

所示(模块高度 14cm)。绘制出 11 种方案的流量-压 力损失图,如图 3 所示。

根据式(3)可知,整个系统的压力损失包括沿程 压力损失和局部压力损失,其中沿程压力损失与湿 周半径、风道长度、截面积、流体与壁面的摩擦力以 及流体内部的摩擦力有关,而局部压力损失系数与 风道截面形状、面积有关。某些参数相互关联、相互 影响,如改变风道面积的同时湿周半径亦会改变,并 且部分参数不存在准确的理论值,难以做单方面因 素的定量分析。结合实验所得的数据,现从风道面积、 风道数、风道内模块长度和楔形块等因素定性讨论 其对风道阻力系数的影响。 3.2.1 风道面积对风道阻力系数的影响

为了尽量避免除风道面积外因素对阻力系数带 来的影响,这里选用机箱内安装相同模块的方案进行 对比,部分实验结果的风道通风面积-阻力系数关系 如图 4~图 7 所示。

图 4 中方案 1 的风道通风面积为 49.7 cm²,方案 2 的风道通风面积为 90.86 cm²,由对比结果可知风道 通风面积越大,阻力系数越小,而图 5~图 7 中实验 结果亦符合该规律,这可以用式(3)、式(4)解释,局 部压力损失和沿程压力损失,均与风道截面面积的平 方成反比,风道面积越大,阻力系数越小。

3.2.2 风道数对风道阻力系数的影响

方案 2 与方案 5 在风道面积相同的情况下,前 者阻力系数明显小于后者,排除面积、风道长度及摩 擦力的影响,得出产生差异的原因是风道数量。由公 式(1)可知当量直径 D 越小,沿程压力损失越大,而 在风道面积相同的情况下,风道数目越多,当量直径 越小,导致方案 5 的阻力系数明显大于方案 2 的阻





力系数,如图8所示。

3.2.3 模块长度对风道阻力系数的影响

对比方案 2 与方案 8、方案 3 与方案 4,模块长 度与阻力系数的关系如图 9、图 10 所示。

两组实验结果符合模块长度越长,风道阻力系数 越大的规律。根据式(1),以方案 2 与方案 8 为例,如 图 2 中模块分布图所示,方案 2 的 L1 段和方案 8 的 L3 段因风道截面完全相同因而此部分压力损失相 同,但方案 2 的 L2 段风道通风面积小于方案 8 的 L4 段风道通风面积,最终导致方案 2 的阻力系数大于 方案 8 的阻力系数,因此模块长度对风道阻力系数的 影响实质上是风道面积对阻力系数的影响。



图 8 方案 2 与方案 5



3.2.4 楔形块对风道阻力系数的影响

在流体力学中为了减小迎风面带来的局部阻力 损失通常采用一些特殊形状的设计,如水滴形、流线 形¹⁰¹,实验中方案 6、9、11 安装了不同高度(等腰三 角形顶点距底边的高)的楔形块以研究楔形块对风 道阻力系数的影响。对比方案9与方案10,结果如 图 11 所示,因为方案 9 中 L6 段的风道通风面积较 方案 10 相同位置的风道通风面积小,其他位置风道 面积相同,则因为风道通风面积引起的压力损失方 案9应大于方案10.但实验结果显示方案9的阻力 系数小于方案 10,说明楔形块的引入减小了局部压 力损失系数 *ε*。再对比方案 6、7、11,结果如图 12 所 示。其中方案 6 安装了高 96.1 mm 的楔形块.方案 11 安装了高 36 mm 的楔形块,实验结果表明阻力系数 方案6最大,方案7次之,方案11最小,表明过高楔 形块的引入反而会增大系统的阻力系数。这是因为 楔形块引入减小局部压力损失的同时也减小了风道



图 11 方案 9、10



图 12 方案 6、7、11

面积,而相应会导致系统沿程压力损失的增加,最终 系统的压力损失是两者共同作用的结果。

4 结束语

本文利用搭建的测试系统研究了风道系统中各 因素对系统阻力系数的影响。借助该测试系统可实 现机箱阻力特性的快速测量,即使设计参数发生变 化,完成设计也非常方便。如将机箱内某个结构改 变,可以利用该系统快速测试分析出结果,观察到结 构改变造成的系统阻力变化。相比繁琐的理论计算 和理论知识要求较高的仿真模拟,有助于设计人员便 捷的完成热设计工作。

参考文献

- [1] 卢锡铭. 电子设备热仿真热测试技术研究[J]. 船舶电子对 抗,2013,36(3):118-120.
- [2] 李业,周水清,王军,等.转速对弯掠轴流风机气动噪声的 影响分析[J].工程热物理学报,2014,35(1):51-55.
- [3] 张忠海. 电子设备中高功率器件的强迫风冷散热设计[J]. 电子机械工程,2005,21(3):18-21.

- [4] DAVE S S. 电子设备冷却技术[M]. 2 版. 李明锁, 丁其伯,
 译. 北京:航空工业出版社, 2012:122-127.
- [5] 严雅婧,孟晶悦,张龙.大型矿用挖掘机风道压力损失的 计算[J]. 机械管理开发,2014,138(2):59-61.
- [6] 王有锋,姜武,张辉,等. 电厂烟风道异型件阻力系数的数 值计算方法[J]. 电力科学与工程,2006(3):47-49.
- [7] 杨世铭,陶文铨.传热学[M].3 版.北京:高等教育出版 社,1998:424.
- [8] 陈杰瑢,李尊朝,程刚.风道压力损失与分支风道压力平衡计算的程序设计[J].西北纺织工学院学报,1995,9(1): 28-30.
- [9] 邓彩华,童亮,陈壁峰,等.多孔介质流动的直接数值模拟[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2011,35
 (6):1257-1260.
- [10] 王奉明,张靖周,王锁芳. 扰流柱形状对流动换热特性影响的数值研究[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),2005, 5(2):7-30.

(编辑:李妮)

(上接第 135 页)

机负荷参数的预测仿真。经过 SVM 参数优化后,模型 的预测准确率更高,证实了该方法的可行性和有效 性,为磨矿过程优化控制提供了有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 石立,张国旺,肖骁.金属矿山选矿厂磨矿分级自动控制研 究现状[J].金属材料与冶金工程,2014(1):43-48.
- [2] WEI D H, CRAIG I K. Grinding mill circuits a survey of control and economic concerns[J]. International Journal of Mineral Process, 2009, 90(14):55–56.
- [3] HUANG P, JIA M P, ZHONG B L. Investigation on measuring the fill level of an industrial ball mill based on the vibration characteristics of the mill shell[J]. Minerals Engineering, 2009, 22(14):1200-1208.
- [4] TANG J, ZHAO L J, ZHOU J W, et al. Experimental analysis of wet mill load based on vibration signals of laboratory scale ball mill shell [J]. Minerals Engineering, 2010,23(9):720-730.
- [5] 冯雪,赵立杰,郑瀚洋.基于 KPCA 频谱特征提取的球磨机 负荷检测方法 [J]. 沈阳化工大学学报,2014,28 (2):175-180.
- [6] 汤健,赵立杰,岳恒,等.基于多源数据特征融合的球磨 机负荷软测量[J].浙江大学学报(工学版),2010,44(7): 1406-1413.

- [7] 纪昌明,周婷,向腾飞,等.基于网格搜索和交叉验证的支持向量机在梯级水电系统隐随机调度中的应用[J].电力自动设备,2014,34(3):125-131.
- [8] 周华平,熊博杰,桂海霞.最小二乘支持向量机优化模型 在煤矿安全预测中的应用[J].测绘科学,2014,39(7):150-154.
- [9] 张炎欣,王伟,张航.基于即时学习策略的火电厂球磨机 负荷软测量[J].计算机工程与应用,2012,48(7):224-230.
- [10] 方帅,夏秀山,曹洋,等. 基于噪声水平估计的图像盲去 噪[J]. 模式识别与人工智能,2015,28(1):51-57.
- [11] 李翠平,郑瑶瑕,张佳,等. 基于遗传算法优化的支持向 量机品位插值模型[J]. 北京科技大学学报,2013,35(3): 837.
- [12] 崔晓祥,李娟. 基于支持向量机回归的电力系统负荷建模[J]. 江苏电机工程,2012,31(3):37.
- [13] ITO K, NAKAMO R. Optimiznig support vector regression hyperparameters based on crossvalidation[C]//Proceedings of the international Jonit Conference on Neural Networks, 2003, 3(7):2077-2081.

(编辑:刘杨)