

# 大型风冷冷水机组工况试验室声学设计

倪 灏<sup>1</sup>, 陈士杰<sup>2</sup>, 龚农斌<sup>2</sup>, 王吉荣<sup>2</sup>, 刘海生<sup>2</sup>

(1. 约克(无锡)空调冷冻设备有限公司, 无锡 214000; 2. 同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘要: 以实际工程为例, 介绍了在大型风冷冷水机组性能试验室中如何进行试验室声学设计, 在满足大型风冷机组性能试验的基础上, 在兼顾工况试验所需要的温度变化、湿度变化以及气流组织需要的同时, 考虑噪声测试的特殊需要, 采取合理组织气流走向等技术措施, 保证大型空调冷冻设备性能试验室内的声场效果达到预期要求。

关键词: 冷冻设备性能试验室; 声学设计; 风口布置;

中图分类号: TU 文献标识码: A 文章编号: 1000-3630-(2005)03-0186-04

## Design of half free sound field in performance test facility for large air-cooled chiller

NI Hao, CHEN Shi-jie, GONG Nong-bin, WANG Ji-rong, LIU Hai-sheng

(1. York (Wu Xi) Air Conditioning and Refrigeration Co. Ltd., Wuxi 214000, China;  
2. Tongji University Institute of Acoustics, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Acoustic design of a large tonnage air-cooled chiller performance test facility is described. Performance test is carried out to meet the basic requirement of the air-cooled chiller. In the mean time, variations of temperature and humidity, suitable air flow, and requirements for noise test are taken into account. In this way the designed anechoic test chamber can provide desired results that meet the expected specifications.

**Key words:** refrigeration equipment; performance test facility; acoustic design; tuyere arrangement

## 1 引言

为了保证与提高产品质量, 设计建造了风冷冷水(热泵)机组的全性能试验室, 占地面积约 200m<sup>2</sup> (参见图 1)。一般情况下, 类似的实验室内经常由于周围设备噪声过大, 无法对被试验设备的噪声水平进行深入研究, 通过本项目的设计, 希望能够解决这一问题。

本试验室的检测对象为大型风冷冷水(热泵)机组, 实际运行时风量需求比较大, 环境温差要求也高, 为了保证试验室内的温度、湿度、气流分布走向按需要进行调整, 使室内声场和室内环境声级符合

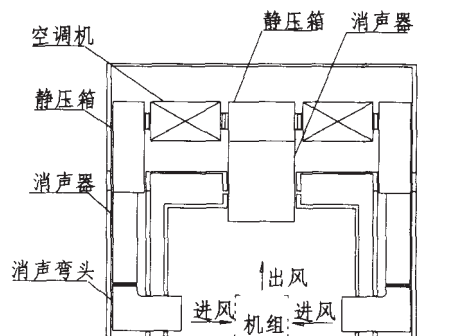


图 1 冷冻机组性能试验室的总体布置

Fig.1 Plan of air-cooled chiller performance test facility

测试需要, 因此, 对消声室的设计要求也比较高。冷冻机组在进行热工性能试验时, 需要引入预定温度的气流; 在正常工况条件下进行噪声特性检测时, 也需要保证其相应温度的气流供给。因此, 消声室配置有空气处理柜系统, 且在消声室内分别设置

进、出风道,以满足冷冻机组试验的实际需求。

由此引出了几个必须解决的问题:

(1) 室内进、出风口位置的布置,室内流场的分布,气流走向以及风口出流速度的设计和调节。这些问题直接影响试验机组的正常运转工况,关系到机组热工性能测试、噪声特性测试能否正常进行。

(2) 空气处理系统向试验室内输送气流时,其自身风机高速旋转时产生的噪声级高达90dB(A)左右,经由通风管道直接增强室内的声场能量,产生高的背景噪声级,影响试验机组的测试精度。

(3) 室内风口法兰角铁、风口支撑架、风管侧壁和管道折弯处等也都会产生声反射,扰乱室内自由声场的空间范围。

## 2 声学设计

### 2.1 指标要求

- (1) 半消声室下限截止频率 $\leq 125\text{Hz}$ 。
- (2) 消声室隔振系统固有频率 $\leq 10\text{Hz}$ 。
- (3) 最高风速条件下,室内背景噪声值:50dB(A)。
- (4) 静态测试条件下,室内背景声压级:25dB(A)。

### 2.2 声场设计

本消声室采用综合性声学设计,根据半消声室技术指标的要求,同时又为了满足冷冻设备自身技术性能的指标,参照国标《GB 6882-86 声学-噪声源声功率级的测定-消声室和半消声室精密法》中的设计准则,将试验室的净空尺寸确定为:长12.6m、宽9.6m、高6.8m。

在试验室的两侧墙以及顶部分别设计了进风口、排风口,并添置了进风、排风消声段等。通风消声系统的尾部安装了风量、风速及风压测量装置。试验室内部顶面及四周壁均布置安装了吸声尖劈材料。在试验室的内外墙之间分别设置了内外三层门,二层隔声门主要起隔声作用,内层吸声门对试验室内部起吸声作用。侧墙上还安装了摄像监视设备等。

### 2.3 解决问题的主要措施

为了满足冷冻机组试验的需要,把设计要点放在室内流场走向分布和试验用进、出风道系统的声学处理上。采取了以下设计方案:

- (1) 风口设置

试验机组运转时由两侧进风口引入新风,经过内部温度调控再由机组顶部的排风口输出。显然,室内流场分布应当与试验机组流场相互匹配,才能保证试验机组的运转工况需求。

在消声室内部采取下送上回的风力输送,建立与试验机组遥相互应的风口布置格局,形成迎合试验机组冷热空气合理回送的通风方式。不仅可以避免试验机组运行不良的后果,也可以减少室内流场涡流区域的产生,以避免对机组试验产生不利的影响。

#### (2) 室内流场的调整

根据试验机组对室内气流流场的要求,试验室内风速不宜偏大,也不宜偏小。风速偏大容易造成室内流场紊乱,导致气流噪声过高影响机组的测试精度;风速偏小又难以补缺,造成机组运转风量不足。

由于气流再生噪声的大小随流速的六次方变化,为此,对进出风管道的吸声片间风速进行了理论估算和实验筛选,确定进出风道的流速值最佳参数为4m/s。为了保证4m/s的流速值,在整个消声段还设计插入了消声静压箱,获得了满足冷冻机组试验要求的可靠空气动力性能参数。

试验室内进行热工性能试验的冷水机组型号各异,为了使室内空气流场能够满足不同冷水机组的实际运行工况需要,在风道末端设有气流流向调节装置,可以根据不同试验机组的实际需求,调节气流走向。

#### (3) 进出风道的消声处理

进出风道的消声处理的准则是:达到足够低的室内背景噪声级,不至于因为风噪声的存在而影响自由声场。根据空气处理机柜的频谱特性和允许的气流速度,设计试验了两种片式消声器,其基本结构相同,外形尺寸和内部尺寸有所不同,气流通道皆为矩形,两种消声器气流通道尺寸示于图2中,消声量分别估算如下:

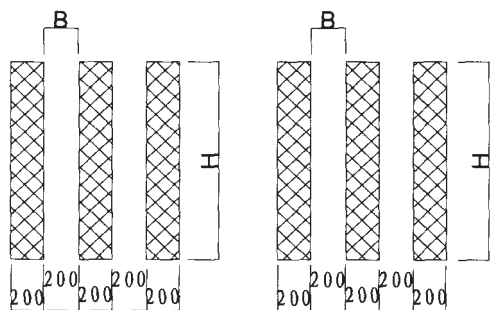
$$\Delta L_p = \varphi(\alpha_0) \frac{P}{S} \cdot L \quad (1)$$

式中: $\Delta L_p$ 为倍频带消声值(dB);

$\varphi(\alpha_0)$ 为由吸声系数 $\alpha_0$ 确定的消声系数; $P$ 为有效吸声通道周长(单位:m); $S$ 为气流通道横断面积(单位: $\text{m}^2$ ); $L$ 为消声器长度(单位:m)。

由于图中通道皆为矩形,高度远远大于宽度,所以式(1)中

$$\frac{P}{S} = \frac{2(B+H)}{B \cdot H} \approx \frac{2}{B}$$



(a)有效长度  $L=2220\text{m}$  (b)有效长度  $L=2000\text{m}$

图2 不同长度消声器结构

Fig.2 Structure of mufflers with different length

图2(a)中倍频带消声量计算式如下:

$$\begin{aligned}\Delta L_p &= \varphi(\alpha_o) \frac{P}{S} \cdot L = \varphi(\alpha_o) \cdot \frac{2}{B} L \\ &= \varphi(\alpha_o) \frac{2}{0.2} \cdot B \cdot 2.22 = 22.2\varphi(\alpha_o) \cdot B\end{aligned}$$

同样,图2(b)的计算式为:

$$\Delta L_p = 20\varphi(\alpha_o) \cdot B$$

当  $\varphi(\alpha_o)=1$  时,2m 消声器的消声量约为 20dB。可见,在整个消声段设计中,需要较长的消声路程才能满足  $90-50=40\text{dB(A)}$  的消声要求。为此,插入了两节片式阻性消声器和导向消声弯头,其中还插入了消声静压箱,其整体消声量约为 50dB(A)。保证了消声室内背景噪声的达标要求。

我们采取了十字交替法放置片式阻性消声器目的在于进一步提高消声器的有效消声圆周面积,弥补消声路程的不足。

由于进、出风口大,法兰角铁、风口支撑架、风管侧壁以及风管弯头的内壁等形成的反射面积也就比较大。为此,在这些部位加贴了高效吸声材料玻璃纤维棉板,尽可能地减少声波向消声室内反射。

#### (4) 消声室声场互补措施

消声室的围护结构采用 200mm 厚的钢筋混凝土和 240mm 厚砖墙完全分离的双层墙体结构,两墙间距约为 500mm。内胆与基础之间采用性能价格比高的 DZT-150 钢弹簧隔振器,支撑自振频率  $\leq 5\text{Hz}$ 。消声室外墙与内胆之间安装了两扇外开式双开隔声门,采用阶梯形搭接方式紧闭。内胆吸声门设置成内开式吸声尖劈门,两扇门的搭接采取折线形边缘。试验室的吸声结构为尖劈状吸声体,基本尺寸为  $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 700\text{mm}$ 。结构设计采用框架外覆盖铝合金穿孔板,板后粘贴无纺布并铺设成型离心玻

璃棉板吸声材料。避免以往吸声尖劈难以除尘保洁、影响美观和使用效果的弊端。

对于室内电柜,采取了因地制宜的方法,直接将电柜的外壳做成穿孔板,在不影响柜内线路与管道布置的前提下,充分利用柜内剩余空间粘贴一定厚度的吸声材料,减少电柜引入对声场产生的不利影响。

另外,空气处理柜等还加装了隔振器,消除设备之间的振动传递。

### 3 实验测试

为了确定本试验室声学设计是否满足实际使用,在允许的误差范围内能否符合自由声场的空间范围,以及在动态、静态条件时的背景噪声值。对试验室进行了测试,检验其声学性能与原设计指标之间的差距。

室内自由场半径的测试:将声源放在试验室地面中心位置,自声源至试验室顶面两棱线中心和顶角分别设定三条测量轴线,测试频率从 100Hz~8kHz。测试结果显示出良好的结果:顶面横棱方向自由场半径  $\geq 4.5\text{m}$ ,顶面纵棱方向自由场半径  $\geq 5.5\text{m}$ ,顶角方向  $\geq 6.5\text{m}$ 。图3~图5给出了三个方向 125Hz 的自由场半径测试结果。

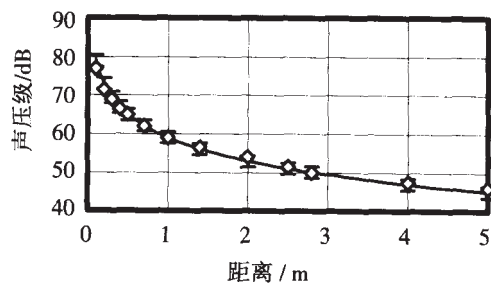


图3 横棱方向自由场半径(125Hz)

Fig.3 Transverse radius of free sound field (125Hz)

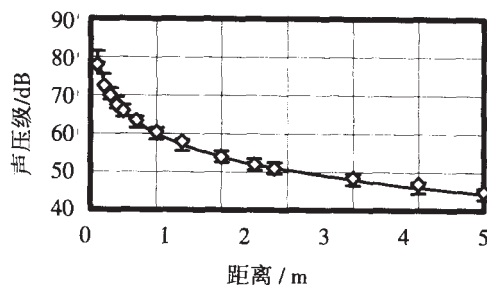


图4 纵棱方向自由场半径(125Hz)

Fig.4 Longitudinal radius of free sound field (125Hz)

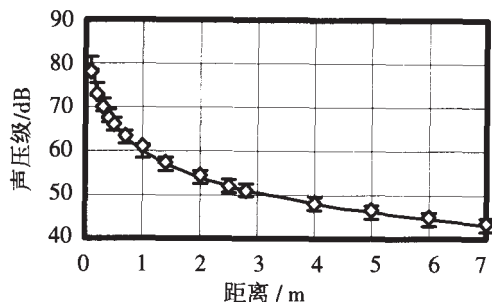


Fig.5 Radius of free sound field in diagonal line (125Hz)

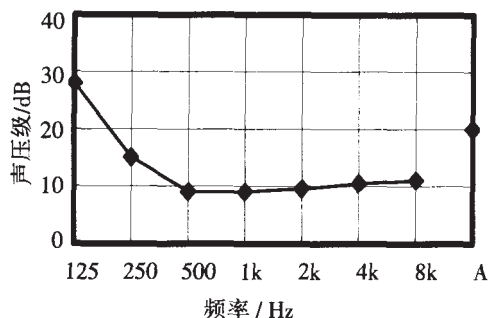


图6 静态时室内背景噪声频谱

Fig.6 Back ground noise frequency spectrum in room under static stale condition

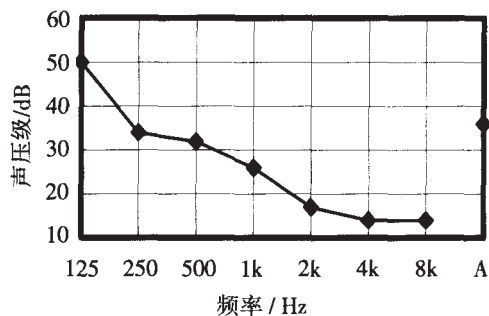


图7 最高风速时室内噪声频谱

Fig.7 Noise frequency spectrum in room under the largest wind velocity condition

试验室内背景噪声值测点布置在半消声室内地面上方 1.5m 处,分 3 点测量取平均值。通过测试,试验室内背景噪声值静态时为 20dB(A)(见图 6);最高风速时为 36dB(A)(见图 7)。静态背景噪声值和最高风速噪声值均优于原设计指标。

## 4 结束语

本试验室根据具体要求以及实际允许条件进行设计,结合其自身的特点,借鉴了国外同类消声室设计的成功经验。建立后的测试结果优于预定的设计要求,为大型风冷冷水机组工况试验提供了高标准的测试环境要求,提高了试验机组的测试精度,尤其是动态测试精度得到了必要的保证。

## 参考文献

- [1] 倪乃琛,沈保罗.噪声和电声测试技术[M].上海:同济大学出版社,1989.  
NI Naishen. SHEN Baoluo. The Measurement Technology of Noise and Electro Acoustic[M]. Shanghai tongji University Publishing Company. 1989.
- [2] 马大猷.噪声与振动控制工程手册[M].北京:机械工业出版社,2002.  
MA Dayou. Handbook of Noise and Vibration Control Engineering[M]. Beijing Mechanical Industry Publishing Company, 2002.
- [3] 赵松龄.噪声的降低与隔离(上,下册)[M].上海:同济大学出版社,1985.  
ZHAO Songling. Reduction and Isolation of Noise (top, bottom volume)[M]. Shanghai Tongji University Publishing Company, 1985.

## 书讯

### 《数字密写和密写分析—互联网时代的信息战技术》一书出版

由《声学技术》副主编王朔中教授,以及张新鹏博士和张开文博士合著的《数字密写和密写分析—互联网时代的信息战技术》一书于 2005 年 4 月由清华大学出版社出版(ISBN7-302-10285-6/TN.228)。该书是国家自然科学基金研究专著。书中以密写和反密写之间的对抗为主线,系统论述了国内外在这一信息技术前沿领域的主要进展,着重介绍了作者的研究成果。

密写(steganography)是以图像、数字音频等信号为载体,嵌入要传递的秘密信息以实现隐蔽通信。它不同于密码术之处是“正在进行通信”这一事实也被隐藏起来了,因此具有高度的保密性。反密写(steganalysis)的首要目标是对表面正常的多媒体信号进行统计分析,揭示其含有隐蔽信息这一事实,这就是密写分析。研究密写和反密写对于信息安全具有重要意义。密写技术也有广泛的民用和商业前景。

本书可供信息技术、通信工程、计算机、声学、电子工程等领域中关注信息安全和多媒体应用的工程技术人员和科研教学人员阅读,也可以作为研究生和大学高年级学生的教材和参考书。