

装备快速封存技术中的传感器配置研究

郑晓曦, 张雨, 张磊, 罗剑
(装甲兵工程学院, 北京 100072)

摘要:以某型封存装甲装备为例,利用计算流体力学(CFD)技术,对封装装甲装备动态除湿过程中的装备内部温湿度场分布情况进行了仿真研究,结合装备封存技术的特殊要求提出了封存装备状态检测中传感器配置的原则和方法,并给出了装备快速封装技术中传感器配置的操作方法,实验表明该方法具有很强的操作性,为进一步深入研究快速封装技术奠定了基础。

关键词:快速封存技术; 传感器配置; CFD; 温湿度场

中图分类号: TJ811.89 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)03-0100-04

Research of Sensor Configuration in Equipment Rapid Seal and Storage Technologies

ZHENG Xiao-xi, ZHANG Yu, ZHANG Lei, LUO Jian
(Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: A sealed armored equipment was taken as example, and CFD technology was applied to simulate and study the internal temperature field and humidity field distributions in the process of dynamic dehumidification for the sealed armored equipment. Combined the special requirements of the equipment seal technology, the principles and methods of sensors configuration in the sealed equipment state detection was put forward, and the operation methods of sensors configuration in equipment fast packaging technology was given. The experiment results showed that this method has strong practicality. The purpose was to provide reference for the further research of the fast packaging technology.

Key words: rapid seal and storage technologies; sensor configuration; CFD; humidity field

装备在长期封存过程中,由于受到周围介质(如大气、海水或微生物)的作用,会产生腐蚀和霉变,因而在监测封存环境状态的过程中,最重要的物理量是封存装备空间的温度和湿度^[1]。封存空间和外界

环境没有绝对隔离,在稳态情况下密封体与外界环境也存在透湿现象,甚至会出现结露问题,在动态除湿过程中温湿度场的分布更加复杂^[2]。首先,由于封存装备空间较大,自身存在较大的温湿度梯度,特别

收稿日期: 2011-01-29

作者简介: 郑晓曦(1986—),男,陕西咸阳人,硕士研究生,主要研究方向为武器系统与运用。

是在进行动态除湿的过程中温湿度场的情况复杂,这就意味着不能随意选择传感器布点位置。其次,由于装备长期封存有特殊要求,所以封存过程中对封装环境状态监测技术也有特殊要求。

因而,传感器最优配置(数目与布点位置)的合理与否将直接影响封装装备的状态监测以及动态除湿的效果。

1 配置原则

1.1 放置位置的原则

1) 确保监测数据的可信度。在对封存装备进行动态除湿过程中,封存装备内部存在较大的湿度梯度场,封装装备内部空间温度、湿度分布不均匀,动态除湿的过程中内部温度、湿度的分布情况更为复杂。因此,在选取传感器布点位置时,要充分考虑该点温湿度数据的代表性,使测量数据能很好地反应封装环境的真实状态,以便能够准确地测量和精确地控制。

2) 所选的监测位置要便于安装传感器。装甲装备内部空间结构复杂,要考虑到选点位置是否便于安装温湿度传感器。

3) 所选传感器监测点使整个封装空间没有监测盲区。传感器的有效感应范围有限,封装装甲装备内部空间较大,要充分考虑到监测盲区。

1.2 配置传感器质量的原则

1) 能够实现系统自我纠错功能。传感器一旦布置在封存装备内部进行使用,就不能再进行更换,这也是装甲装备快速封存技术的一项特殊要求。在封装装备状态监测过程中,传感器使用的环境比较恶劣,因而传感器自身的使用可靠性不容忽视。为使监测系统能够有效、可靠地工作,整个监测系统应具有自我纠错功能。

2) 确保状态监测的精度。通过各监测点的数据比对,可提供精确的温湿度数据,对模型的精度可达到最大,而对其他误差估计可达到最小。

1.3 配置传感器数目的原则

尽量降低成本与能耗,主要是指节约系统费用

和降低能耗,包括在没有监测盲区的前提下尽量减少传感器的用量和降低运行过程中的电量消耗。因为封装环境中监测设备在很长时间内不能进行电池更换,所以要尽可能降低系统的电量消耗,这就要求对于传感器的数目要有所限制。

2 放置位置的确定

CFD技术在计算室内流场、温度场等方面被证明是一种有效的技术^[3]。首先,利用CFD技术对某型封装装备动态除湿过程中的内部空间温湿度场进行仿真分析,得到整个过程中封存空间的温度、湿度分布情况,经过数据分析得到封存空间内部温度值和湿度值的危险位置,并结合上文中提到的位置确定原则,确定传感器的布置位置。

2.1 封存装备温湿度场仿真物理模型

依据某型实际装备内部构造尺寸建立了三维模型,并结合CFD技术进行仿真条件限定,对所建立的三维模型进行了相应的简化。将简化后的模型导入面向CFD的专业前处理器软件(GAMBIT)中,利用GAMBIT对封装装备仿真的物理模型进行相应的设定以及网格划分^[4],计算模型网格划分后如图1所示。



图1 装备内部空间计算模型

Fig. 1 Equipment interior space calculation model

2.2 CFD仿真数学模型

CFD技术通过求解普遍遵守的质量守恒、动量守恒、能量守恒方程,获得计算区域的各种参数。仿真过程中选用标准的 $k-\varepsilon$ 湍流模型。考虑到水分子在扩散过程中伴随着热量的交换,为了减少温湿度和气流计算结果的误差影响,依据CFD技术的基础知识和数值传热学理论^[4-5],得出关于封存装备空间

流体各变量,有以下微分控制方程组。

连续性方程:

$$\frac{\delta U_i}{\delta x_i} = 0 \tag{1}$$

动量方程:

$$\frac{\partial(\rho U_i U_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) + \mu \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] \tag{2}$$

式中: U_i, U_j 为各速度分量; ρ 为气体密度; P 为压力; μ 为气体的动力黏度。

标准 $k-\varepsilon$ 模型的湍动能 k 和耗散率 ε 方程如下:

$$\rho \frac{dk}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - Y_M - \rho \varepsilon \tag{3}$$

$$\rho \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + G_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{4}$$

式中: μ_t 为湍流黏性系数, $\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}$; G_k 为由于平均速度梯度引起的湍动能; G_b 为由于浮力影响引起的湍动能; Y_M 为可压缩湍流膨胀对总的耗散率的影响; $C_\mu=0.09$; 在 fluent(商用 CFD 软件包)中, $G_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ 为默认值常数, 分别为 1.44, 1.92, 0.09, 1.0, 1.3。

水汽的质量浓度计算公式:

$$\frac{\partial(\rho U_i C)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial} \left[\Gamma_c \left(\frac{\partial C}{\partial x_i} \right) \right]$$

式中: C 为水汽的质量浓度; Γ_c 为水汽的扩散系数, 不考虑随气体温度的变化时 $\Gamma_c=3.185 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

2.3 CFD 数值仿真的假设条件

在对封装装备稳态情况下温湿度分布情况进行仿真分析时, 设定 CFD 数值仿真的假设条件。

1) 送风为来流速度、温度恒定的稳态紊流干空气, 内部气体为不可压缩流体, 且满足 Boussinesq 假设, 认为流体密度的变化仅对浮力产生影响, 出风口压强与装备内部相同。

2) 计算流体为干空气和水蒸气的理想气体混合物, 液态水滴中不包含溶解的空气。空气的存在不影响水蒸气及其凝聚相平衡, 平衡湿度和分压力

对应饱和温度计算。

3) 计算过程中不考虑装备内的辐射传热。

4) 流场具有高的紊流雷诺系数, 流体的紊流黏性具有各向同性。

5) 气流为低速流动, 可忽略由流体黏性力做功所引起的耗散热。

6) 不考虑漏风的影响, 认为内部气密性良好。

2.4 湿度分布的仿真结果

通过对封装装备整个除湿过程的动态仿真, 得知在动态除湿过程中温度场梯度不大, 但是湿度场梯度较大。当有个别位置的湿度值达到控制值时, 经过对此时装备内部空间的湿度值比较得出测点位置分布情况如图 2 所示 A, B 处。

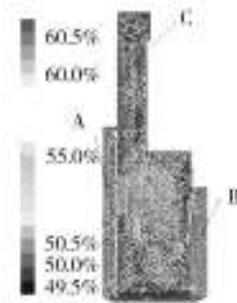


图2 装备内部湿度分布及传感器放置位置

Fig. 2 Equipment distribution and the internal humidity sensors position

3 试验验证

通过对仿真数据的分析, 从图 3 中可以看出整个封存空间内部温度场梯度不大, 湿度的最高值位置为图 2 中所示 A 与 B 所处的边缘带状区域, 并且在该区域内部各点的相对湿度值均为 60%, 除 2 处边缘带状区域外的其余部位湿度值都相差不大, 相对湿度都集中在 50% 左右。结合上文中提出的传感器配置原则, 初步确定监测传感器的数目为 2 个, 布点位置与仿真结果一致。

通过对封装装备动态除湿过程的仿真, 得知最先达到湿度控制范围的为图 2 中的 C 处区域(干燥空气进风口)。试验测量时, 在 C 处布置一个温湿度传感器, 当 C 处的相对湿度值达到最优控制范围 50% 以内时, 采集其余 2 点温湿度值, 见表 1。

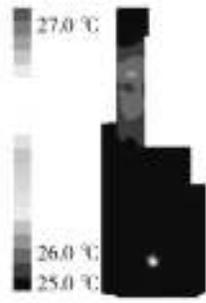


图3 装备内部温度分布

Fig. 3 Equipment temperature distribution

表1 仿真值与试验值

Table 1 Simulation value with the experimental comparison

项目	测点					
	C		A		B	
	温度/°C	RH/%	温度/°C	RH/%	温度/°C	RH/%
仿真值	26.1	49.6	25	58	25.2	60
试验值	27.3	50	26.4	63	25.7	67

经过实验论证,动态除湿过程中的湿度和温度仿真值与测量值基本吻合,但仍然存在一定的误差。存在误差的原因主要是:

1) 在建立物理模型时,为了更方便地建立仿真模型而对封装装备内部进行了大量的简化;

2) 封装装备与外界环境存在热交换,不是严格的密闭隔热环境。

4 结语

1) 提出了装备快速封装技术中传感器配置的

原则与具体实施方法。

2) 应用CFD技术对封装装备整个除湿过程进行了动态仿真,得出在动态除湿过程中温湿度场的分布情况:温度场梯度不大,但是湿度场梯度较大,分布情况较为复杂。

3) 经过仿真研究和实验论证确定了某型封装装甲装备温湿度传感器配置的数目和位置。

对装备快速封装技术中传感器的配置研究方法可推广到其他装备的封装操作中,为进一步研究封装装备状态监测奠定了基础。

参考文献:

[1] 王浚,黄本诚,万才大,等. 环境模拟技术[M]. 北京:国防工业出版社,1996:230—231.

[2] 郑铁军,张会奇,孟凡金. 湿热环境下装甲装备封存方法应用研究[J]. 装备环境工程,2010,7(4):95—96.

[3] YI Jiang, CHEN Qingyan. Study of Natural Ventilation in Buildings by Large Eddy Simulation[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001, 35 (89) : 1155—1178.

[4] 王瑞金. FLUENT技术基础与应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2007.

[5] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2001:342—345.

(上接第99页)

37—39.

[2] 马明,吕伟涛,张义军,等. 中国雷电活动特征分析[J]. 气象科技,2007,35(9):1—7.

[3] 杨光,张九营. 从雷击的选择性谈雷电防御[J]. 气象与环境科学,2008,31(9):202—204.

[4] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京:气象出版社,2003.

[5] 潘忠林. 现代防雷技术[M]. 成都:电子科技大学出版社, 1997.

[6] GB/T 14410.6—93, 飞行力学概念、量和符号 飞机几何形状[S].

[7] 苏青. 2007年中国重大科学技术与进展[J]. 科技导报, 2008,26(1):19—27.