

冷柜风道结构数值设计分析

刘龙飞

摘要:合理化风道结构数值设计方案,能够使冷柜具备更好的制冷性能。本文以某冷柜的风道结构设计为例,详细分析并构建模型、确立边界条件、求解最优值;冷柜风道结构数值设计,并提出了设计方案合理的验证手段,实现了对冷柜风道结构数值设计编制的深入分析。

关键词:冷柜风道;结构数值;风道设计

中图分类号:TQ6

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2021)31-0226-02

0 引言

冷柜主要用于保鲜存储,是一项重要的冷链物流设施。而其内部制冷效果与风道结构存在直接关系。做好风道结构设计,能够塑造冷柜优越的制冷功能,增强冷链物流作业效果,因此,需深入研究风道结构数值设计,并寻求有效的设计、验证方法。

1 设计背景介绍

在设计案例中,此风道的通风形式为,上送上回的送风形式。在该通风形势下,送风口部分会将气流导入风道,然后气流再经送风孔,进入到冷柜中进行热交换。此后,承载热量的气流就会被轴流风机,抽至回风口排出,而排风口与蒸发器连接,使热气流经过蒸发器的处理后,成为低温气流,同时,再次被送风口结构送入风道,完成循环换热。此冷柜的技术参数,如表1所示。其中,用于存放物品的冷柜尺寸为680mm×920mm×2070mm,冷柜结构中的静压层部分尺寸为100mm×920mm×1750mm。在制冷系统中,送风孔板的尺寸为100mm×920mm,回风口的尺寸为920mm×340mm。此次分析的结构数值包括,送风挡板角度以及穿孔率。

表1 冷柜的技术参数

参数项目	保压压力	保压时间	真空度	4h后真空度
参数数值	19~19.1psi	37h	0.093Mciro	0.093Mciro

2 数值设计方法

2.1 分析模型构建

本文运用了模拟分析法,该方法主要是通过构建简化分析模型,并求出最优解,来确定结构数值。就目前来看,由于该方法的应用简单、结果合理,且受个人主观经验的干扰较少,因此,是当前最为常见的风道结构数值设计方法。在该方法的实施中,需先将风道结构因素进行假设、简化,以构建出一个分析模型,并通过模型求解,确定各项结构数值。在分析模型的构建中,可以假设位于送风口区域的蒸发器处于集成状态,冷柜内壁表面的热

量传递以及内部空气均处于稳态状态。在整体制冷系统中,内部负载可以等价于热源,同时,流体粘性耗散对结构数值合理性的影响较小,因此,可以将其忽略不计。综合上述前提,构建湍流模型作为分析模型。从本质上来说,可以将该模型描述为一个中心差分格式的三维湍流方程,且该方程能够对结构数值变化为温度分布、流场带来的影响进行分析。在此过程中,设计者如果运用K-ε二方程,结合能量守恒原理,将该模型展开分析,同时,在能量、速度、温度残差<10⁻³的情况下,对其进行收敛,则可以得出分析模型:

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

$$\rho \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_i} \right] + G_{\varepsilon} \frac{\varepsilon}{K} + (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - G_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{K}$$

其中:ρ为流体密度;k为系数常数;μ为动力粘度;ε为耗散率;K为湍流动能;G_{2ε}、G_{3ε}为经验系数;G_k、G_b分别为速度梯度以及浮力湍动能;σ_k为普朗特数;Y_M为膨胀系数。

2.2 边界条件确立

待模型构建完毕后,设计者就需要进行条件模拟,即确立模型求解的边界条件。通常来说,该边界条件包括,孔板、送风口,以及回风口位置的设定条件。在边界条件设计中,根据冷柜的实际运行需求,可以将送风温度设置为0℃,送风速度设置为3m/s,同时,此案例中冷柜的送风孔板厚度为2mm左右,对设计结果影响不大,因此可不考虑厚度因素。基于此,可以将边界条件设置为,密度110kg/m³、导热系数0.39、热容3700J/(kg·K)。此外,还要注意,需在划分网格时,使用尺寸为10mm×10mm×10mm的网格,如图2所示,对孔板、送风口予以加密,因此,在边界条件确立上,设计者运用了5mm×5mm×5mm的网格作为对比,进行了无关性检验。经过检验后,设计者发现,网络的划分结果不会影响模型求解结果,因此,无须具体设置与网格相关的边界条件。

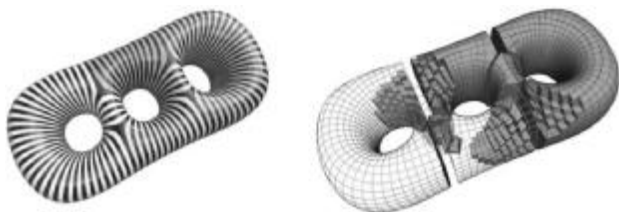


图2 网格

2.3 最优值求解

在最优值求解中,设计者代入到模型中的结构数值项目包括,送风口挡板角度、穿孔率,其中,角度参数有3个备选值,即0、1.5、3,穿孔率也有3个备选值,分别为5%、10%、15%。通过将这6个值与各类元素进行搭配组合,可以构建出9种管道结构备选方案,然后设计者将这9种数值设计方案,分别带入到分析模型中,观察分析模型运算结果所反映出的设计效果,再基于此选择效果最优时的数值设计方案,作为最优解。在此案例中,经过方案设计值带入后,设计者发现,在结构数值设计中,若取3作为挡板角度值,那么冷柜底部的送风速度则能达到最高,但多数区域的风速依然处于0.25m/s以下的状态,影响了下层的换热制冷效率。若取值为0或1.5,则大多数区域风速可达到标准。而在穿孔率这一结构值取值上来看,穿孔率越高,温度分布越均匀,而且在负载条件下,适当提高穿孔率,还可以让流场沿着各个冷柜层间隙横向发展。在此过程中,当穿孔率上升到15%,部分测点呈现出了温度过高的现象。但从整体上来看,制冷效果最佳条件下,结构数值为,穿孔率10%、挡板角度1.5°。在此数值下,冷柜的温度为274K左右,热源区处于274.5~275K范围内,上部风速为0.5~1.2m/s、下部风速为0.24~0.5m/s。

3 数值设计验证

3.1 试验设计

为了保证设计方案的合理性,设计者还要对最优解进行试验验证,确认其的合理性。在此过程中,需要采用参数试验的方法,通过在实验室内,按照之前得出的最优方案,构建出相应的风道结构,并运行该结构,同时测量冷柜的温度以及风速,再根据测量结果判断设计效果是否达到预期,实现设计方案的检验。在试验设计中,根据冷柜的实际运行需求,可以冷藏送风速度参数设置为3m/s、温度参数设置为0℃,同时,在冷柜存储空间内,设置5个温度、风速检测点,对设计结构数值下,冷柜的使用性能进行检测。一般来说,所用的检测方法以传感器检测为主,并在5个测点处,安装相应的温度、风速变送器,由此来实现对冷柜性能参数的检测。综合可行性、性能等方面考虑,在此次试验中所用的变送器设施可以设定为,Testo425风速器,以及VaisalaHUMI-CAP温度变送器。最终,在试验取值时,应取所有测点测量结果的平均值作为最终值^[4]。

3.2 验证结果

经过上述试验环节,从变化趋势上来看,模拟数值与试验测定数值存在一致性,两种数值的平均误差为0.67%,最大误差为13.52%,由此可见,模拟数值的准确性较高。此后,设计者又用试验测得的数据,进行了不确定度分析,并得出,速度值不确定分

析结果为0.1043~0.1076,温度值不确定分析结果为0.0317~0.0465,该结果表明,试验测得的数据离散性较小,具有良好的准确性。从具体数值上来看,模拟值显示,在最优风道结构数值方案下,冷柜内部空间平均温度为1.22℃、平均风速为0.6m/s,冷柜垂直温度均匀系数为1.96、风速均匀系数为2,试验测量值显示,平均温度为1.24℃、平均速度0.7m/s、垂直温度均匀系数1.95、风速均匀系数1.9。因此,在具体数据层面,模型分析得出的数据与实际测量数据之间具有良好的重复性。由此可见,设计方案的效果能够达到预期^[4]。

3.3 结果分析

根据上述试验结果可以看出,试验测量结果与模型分析结果之间存在明显的一致性,因此,模型分析结果对于结构数值设计具有极高的参考价值。为此,在结构数值设计中,运用分析模型法进行设计,可以确保设计效果顺利达到预期。但在此过程中,应当注意,此设计方法涉及的计算较为复杂,不存在人工可行性,所以必须采用计算机进行运算。基于此,合理选用建模软件、计算软件是保证此设计方法应用效果的关键手段。此外,由上述论述可以看出,此种设计方强调以专业的物理学理论为主导,而非个人主观经验,因此,此设计方法更具科学性。不过,对于经验丰富的设计人员来说,也可以先根据自身的经验,来确立一个初始的风道结构数值,然后再运用分析模型,对其进行优化改善,由此得出最优的数值设计方案,但要注意,一定要做好验算操作,以保证结果的准确性^[4]。此外,这种模拟分析的设计方法也适用于风道结构数值的优化设计,设计者可以将当前的结构数值带入到分析模型中,并根据分析模型所反馈的结果进行数值的调整,最终得到最优解,以实现优化设计。由此可见,此设计方法在结构数值参数的设计上,具有良好的适用性和可行性,能够助力冷柜制造水平的提升。

4 结论

综上所述,做好配套风道结构数值设计,有助于冷柜制造生产水平的提升。经过上述分析可以看出,运用模拟分析的方法,结合相应的验证操作,进行最优结构数值取值,可以保证数值取值的合理性,并为冷柜的制造生产提供更加科学的方案,从而推动冷柜产品质量水平的发展。

参考文献

- [1] 梁帅奇,张华润,姜辉.某型强制风冷直流变压器机柜风道设计与优化[J].电力电子技术,2021,55(2):50-53.
- [2] 杨洋,张忠斌,滕飞.风道结构对自提冷冷冻冷藏柜热性能的影响研究[J].南京师范大学学报:工程技术版,2020,20(3):9-14,21.
- [3] 陈智明,汪庆,滕飞.风道结构对冷藏柜热环境影响的数值模拟与试验验证[J].南京师范大学学报:工程技术版,2019,19(2):33-42.

收稿日期:2021-07-07

作者简介:刘龙飞(1988—),男,汉族,湖北襄阳人,本科,主要从事冷柜结构设计工作。