

船舶机舱通风系统的设计及分析

季 禹, 顾益民

(南通航运职业技术学院 轮机工程系, 江苏 南通 226010)

摘 要:文章以某集装箱船的机舱通风系统为例,介绍了机舱通风系统的选型、风管三维模型的建立过程,并运用 CFD 软件对模型进行后期的数值模拟分析以优化设计方案,对船舶机舱通风系统的设计具有一定参考价值。

关键词:机舱通风;通风量;风管建模;CFD 技术

中图分类号:U663.82

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2016)02-0036-05

0 引言

船舶机舱作为全船的核心区域,汇聚了船舶的动力装置及大部分重要设备,因而机舱部分的顺利运作,成为评价船舶安全性能的重要指标之一。众所周知,任何设备的正常工况都需要一个最佳温度,而机舱内发热设备较多,空间相对狭小的特点决定了机舱内废热的排除工作除了依靠自然通风外,更需借助强力有效的通风系统进行机械通风。现代船舶是复杂的人—机—环系统,一套优秀的机舱通风系统除了维持机舱温度,保证设备正常运转以外,也要防止废气聚集,为工作人员提供良好的工作环境,更需要有效地节省资源,降低能耗。^[1]本文整合目前船舶机舱通风的先进设计理念,以某 2 700 箱集装箱船为例,总结了一套全面的机舱通风系统设计方案。

1 船舶机舱通风系统类型的确定

本文根据集装箱船舶的设计经验,并结合技术规格书、SOLAS 公约(海上人命安全公约)、船级社的有关规范标准、船东针对本船的特别要求、设备厂家提供的通风设施技术资料等多方面因素,来确定机舱通风系统的类型。

1.1 确定通风量

根据 ISO 8861-1998(造船柴油机船舶机舱通风设计要求和计算基准)中的相关标准,机舱通风量的确定需要考虑两方面的因素,一是设备燃烧所需空气量,二是设备散热所需空气量,机舱总通风量至少为以上两部分之总和。本文研究的某 2 700 箱集装箱船的机舱主要设备包括主机、柴油发电机及锅炉。其中:主机 1 台,实际使用的最大功率(SMCR)为 12 500 kW,在实际使用最大功率时的空气消耗量(M_{dp})为 25 kg/s;柴油发电机组 4 台,最大使用功率各为 1 980 kW,最大使用功率时的空气消耗量(M_{dg})为 3.949 kg/s;锅炉 1 台,最大蒸汽连续产量(m_s)为 2 000 kg/h。机舱总通风量计算过程如下:

(1)设备燃烧所需空气量。设备燃烧所需空气量 Q_c 可以分为三部分计算,即主柴油机燃烧空气量 Q_{dp} 、发电机燃烧空气量 Q_{dg} 以及锅炉燃烧空气量 Q_b 。经查询相关标准,推进柴油机燃烧所需空气量的计算如式(1)所示:

$$Q_{dp} = \frac{M_{dp}}{\rho} \quad (1)$$

式中 M_{dp} 为推进柴油机在实际使用最大功率时的空气消耗量,取 25 kg/s; ρ 为空气密度,取 35℃时估算

收稿日期:2015-12-23

作者简介:季禹(1988—),男,江苏南通人,南通航运职业技术学院轮机工程系助教,硕士生。

值 1.13 kg/m^3 。计算结果 $Q_{dp} = 22.12 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

发电机燃烧所需空气量的计算如式(2)所示:

$$Q_{dg} = \frac{M_{dg} \cdot n_{dg}}{\rho} \quad (2)$$

式中 M_{dg} 为发电机在最大使用功率时的空气消耗量, 取 3.949 kg/s ; n_{dg} 为正常航行中只启用 3 台发电机 ρ 为空气密度, 取 35°C 时估算值 1.13 kg/m^3 。计算结果 $Q_{dg} = 10.48 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

锅炉燃烧空气量的计算如式(3)所示:

$$Q_{dp} = \frac{m_s \cdot m_{fs} \cdot m_{of}}{\rho} \quad (3)$$

式中 m_s 为锅炉蒸汽最大连续产量, 取 $2\,000 \text{ kg/h}$, 即 0.556 kg/s ; m_{fs} 为燃油耗率, 取 0.077 kg/kg ; m_{of} 为燃烧一千克燃油所需空气量, 取 15.7 kg/kg ; ρ 为空气密度, 取 35°C 时估算值 1.13 kg/m^3 。计算结果 $Q_b = 0.59 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

由此可得, 设备燃烧所需空气量的计算结果为:

$$Q_c = Q_{dp} + Q_{dg} + Q_b = 33.19 \text{ m}^3/\text{s}。$$

(2) 设备散热所需空气量。机舱中散热设备众多, 本文从散热量主次方面选择, 主要考虑主柴油机、发电机组以及锅炉这三项设备的散热。查询相关标准, 主柴油机散热量的计算如式(4)所示:

$$\Phi_{dp} = 0.141 \cdot P_{dp}^{0.76} \quad (4)$$

式中 P_{dp} 为推进柴油机实际使用的最大功率, 取 $12\,500 \text{ kW}$ 。计算结果 $\Phi_{dp} = 183.18 \text{ kW}$ 。

发电机组散热量的计算如式(5)所示:

$$\Phi_{dg} = \varphi_{dg} \cdot n_{dg} \quad (5)$$

式中 φ_{dg} 为发电机的热排放, 取 110 kW ; n_{dg} 为正常航行中只启用 3 台发电机。计算结果 $\Phi_{dg} = 330 \text{ kW}$ 。

锅炉散热量的计算如式(6)所示:

$$\Phi_{cb} = m_s \cdot m_{fs} \cdot h \cdot \frac{\Delta h_b}{100} \cdot B \quad (6)$$

式中 m_s 为锅炉蒸汽最大连续产量, 取 $2\,000 \text{ kg/h}$; m_{fs} 为燃油耗率, 取 0.077 kg/kg ; h 为燃油低热值, 取 $40\,200 \text{ kJ/kg}$; Δh_b 为锅炉在最大连续输出时的热损失百分比, 取 0.72% ; B 为系统常数, 其数值取决于锅炉在机舱中的定位, 由于锅炉直接安装在机舱棚位置, 所以取 $B=0$ 。计算结果 $\Phi_3=0$ 。

由此可得设备散热所需空气量的计算如式(7)所示:

$$Q_h = \frac{\sum \Phi}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} - 0.4(Q_{dp} + Q_{dg}) - Q_b \quad (7)$$

式中 c 为空气质量热容, 取 $1.01 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$; ΔT 为设计状态下, 空气流经机舱的温升, 取 12.5 K ; ρ 为空气密度, 取 35°C 时估算值 1.13 kg/m^3 。计算可知, 设备散热所需空气量 $Q_h = 22.34 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

因此, 机舱总通风量的计算结果为:

$$Q_{TV} \geq Q_h + Q_c = 55.53 \text{ m}^3/\text{s} = 199\,908 \text{ m}^3/\text{h}。$$

1.2 确定风机选型

若机舱采用机械通风, 一般选用 2~4 台等风量风机完成工作。另外, 为了满足效率高、体积小、方便正反转等特点, 机舱风机一般选择轴流风机。若机舱采用机械通风与自然通风相结合的方式, 此时的风机提供的风量应为总风量与自然通风量之差。本船采用了上海亨远船舶设备有限公司的风机, 功率为 37 kW , 共四台 (其中一台为可逆型), 满负荷时总通风量 $360\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, 主风管流速 10 m/s , 其他风管流速 7 m/s , 满足上述计算要求。

1.3 绘制系统布置图

根据机舱的通风量进行系统的布置。首先, 要确定风机的台数; 其次, 确定风管的布置类型, 目前应用较为广泛的是以主管为主的布置方式; 再者, 在向机舱不同部位供风时, 要协调好机舱总体换气效果与各处所需要通风量要求的关系。对于风管路系最终布置方案的确定, 其依据为: 采用重点局部通风, 新鲜空气送至主要的工作场所以及一些高温处所。吹风应避免直接吹到机身, 防止产生热应力和其他一些不良影响。^[2]

在综合考虑以上诸多因素后,最后机舱通风系统布置方案得以确定。本文以机舱发电机平台的通风布置方案为例。此船发电机组部分的送风风管原理图如图 1 所示。

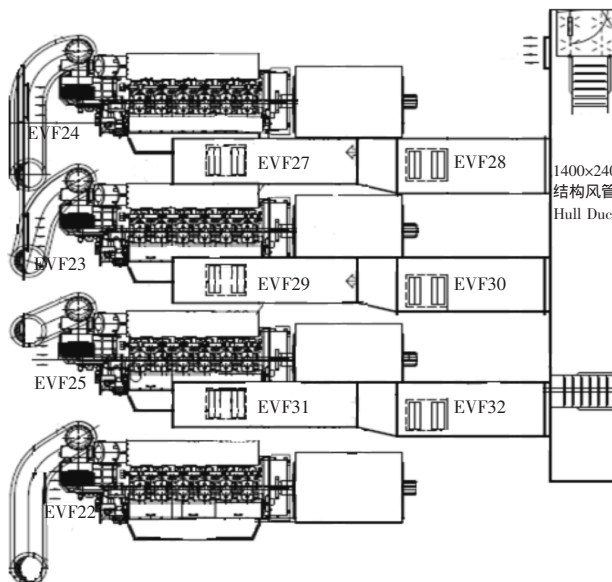


图 1 机舱通风原理图(发电机组部分)

2 风管三维模型的建立

要建立合理、美观、精确的风管模型,必须选用合适的三维建模软件。本文所述的实例中选用的是目前国内船舶设计部门广泛使用的 Tribon 建模软件。Tribon 系统可分为船体设计、舾装设计、系统管理及维护三部分。^[3]与其他船舶 CAD 软件相比,具有如下优点:具备可共享的数据库, Tribon 软件的各个子系统都可以共享和调用数据库中任何信息,从而使整个船舶生产设计过程可以同步进行,比如船体与舾装可以边建模边检查是否存在干涉碰撞,避免了返工,集详细设计与生产设计于一体,是设计内容最全面的系统之一;建模完成后可以提供不同部件的重量信息,以及自动生成管子制作图,方便生产需要。

2.1 建模前期准备工作

建模前的准备工作主要体现在对附件库(Component)的数据完善。Tribon 系统的附件库采用的是单一数据库,对于不同的项目,相同的附件只需要建立一次即可反复使用,因此建模初期的建库工作量相对较大,然后一旦完成,后续工作的时间将大大减小。本文中 2 700 箱集装箱船不是首制船,所以部件库相对完善,可以直接调取加载使用。

2.2 风管建模

风管属于船舶管系,对于管系的建模,前提是具备完整的船体以及与管系相关的主要设备。首先,运用 Tribon 软件中的相应模块对机舱部分的船体进行建模,机舱部分的船体模型如图 2 所示。其次,对机舱中的主要设备进行建模,运用 Tribon 软件中的 Drafting 模块,根据设备厂家提供的技术参数,对设备(主机、发电机等)进行建模,如图 3 所示。最后在按照机舱设备布置图,在船体中调用,并放置完成,发电机组在机舱船体结构中的放样图如图 4 所示。

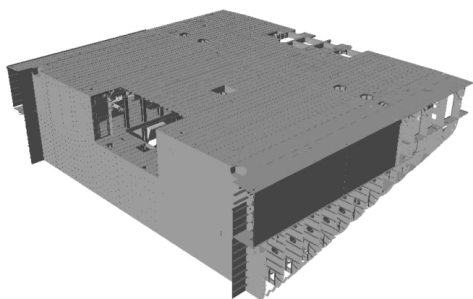


图 2 机舱部分船体三维模型

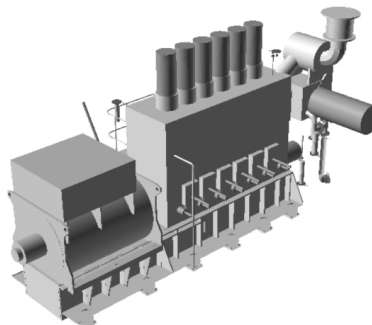


图 3 发电机三维模型

在以上工序完成后, 开始进行风管的建模。根据详细设计的风管原理图, 使用 Tribon 中的风管建模模块 (Ventilation) 进行风管的放样。发电机组上方出风管的三维模型如图 5 所示。在模型建立完成后, 由 Tribon 软件自动生成管子制作图, 出图后交付现场生产部门进行施工。

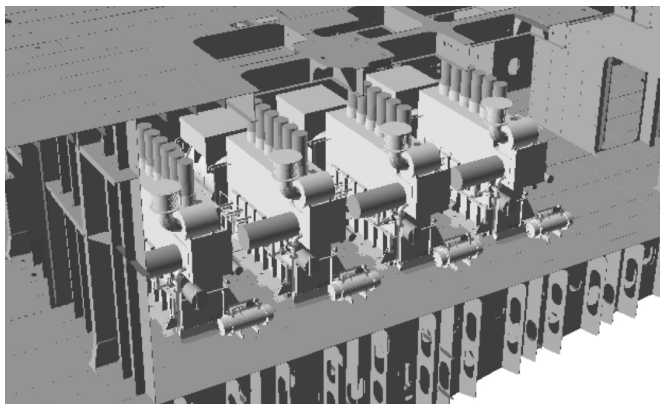


图4 发电机组在机舱船体中的分布

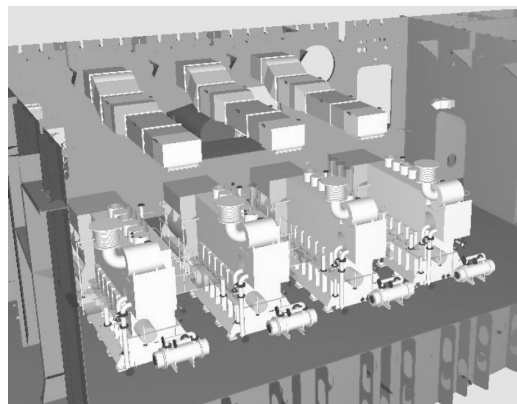


图5 发电机组吹风管三维模型

3 数值模拟分析

在目前国内船厂中, 对于船舶通风系统的前期设计工作到此为止。为了检验这种设计方案能否满足实际要求, 需要进行相应的烟雾测试。但是这种实验只能在现场施工基本完成后方能进行, 如果发现问题, 则需要设计部门重出改单, 造成了返工和原材料的浪费。这种传统的设计方法大多情况是根据技术人员的经验判断, 缺乏精确的分析和预测, 这不符合绿色造船的要求。随着计算机技术的不断发展, 计算流体力学 (Computational Fluid Dynamics, 以下简称“CFD”) 技术日渐成熟。运用 CFD 技术可以有效补偿传统理论计算方法带来的不足。国内学者已经开始着手研究将 CFD 技术与船舶通风系统相结合, 以期能够在设计阶段, 通过对模型加以数值分析, 模拟相应的风速场与温度场, 来对实际结果进行预测, 若发现问题, 可以在设计阶段就对模型进行完善, 极大的减少了后期的工期与成本。目前, 功能比较完善的 CFD 软件有 CFX、Fluent、Phoenix、Star-CD、ANSYS 等。本文以 ANSYS 的应用为例, 模拟了机舱发电机组部位的通风系统设计效果, 大致流程如下:

(1) 求解器选择 3D。计算精度选择单精度即可, 若硬件条件允许, 亦可选择双精度;

(2) 选择能量方程模型。考虑到湍流流动的复杂性和机舱内部空间的不规则性, 本文选用 $K-\varepsilon$ 湍流模型, 并设置收敛标准为 10^{-4} , 即当连续两个循环参数的偏差值低于收敛标准时, 计算自动停止;

(3) 进行网格的划分, 本文采用非结构化网格对计算区域进行离散。首先选择 0.5 m 作为最初阶段网格划分的最小尺寸, 其次登记热源, 对发电机部分进行局部细化处理得到如图 6 的网格划分结果, 其中单元数共计 6 024 326 个, 节点数 1 098 553 个;

(4) 检查网格质量, 本文经过 892 个循环达到收敛, 计算结果求解器结果如图 7;

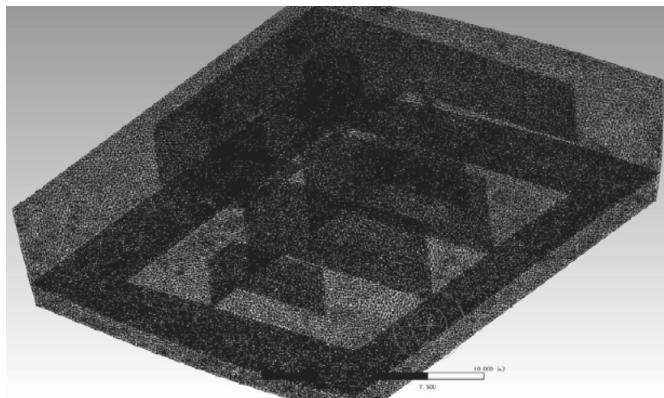


图6 计算网格的划分

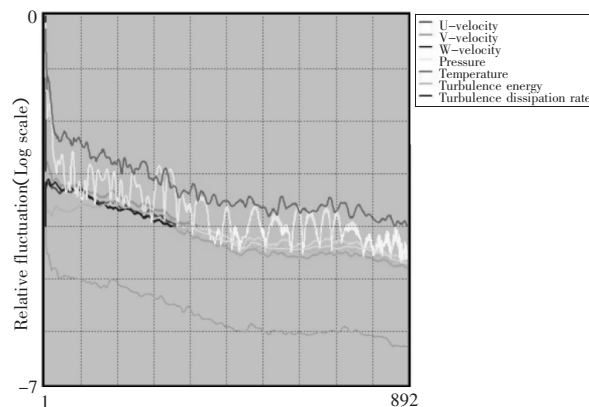


图7 运算结果的迭代残差图

(5)在机舱内平行船中平面,取 2~5 m 处分析发电机处的通风状况。

确定好以上参数后,计算机进行计算工作,得到最终仿真结果。发电机风速场分布如图 8 所示,发电机温度场如图 9 所示。

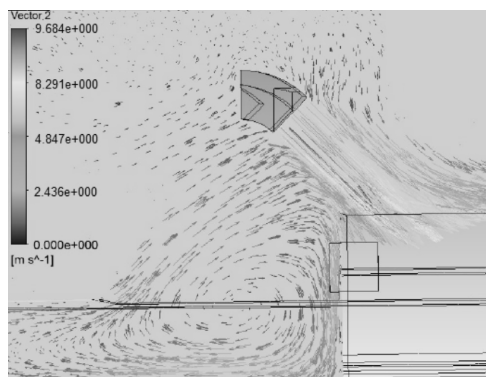


图 8 发电机风速场

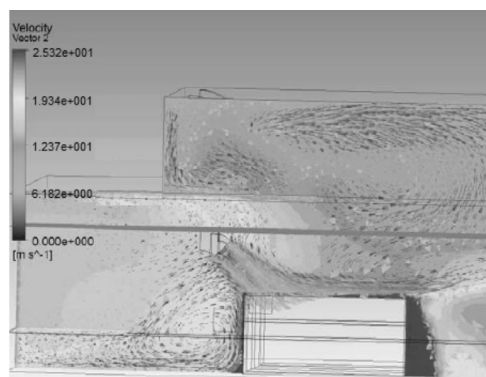


图 9 发电机温度场

从图 8 可以看出,发电机上方空气流通较好,然而右侧受到机舱后壁的阻碍,形成了漩涡,导致流通不畅。在图 9 温度场中,明显可以看出发电机右侧颜色较深,温度显示偏高,需要做出相应的改动以达到更好的散热效果。根据数值模拟分析的结果,本船的通风系统设计采用在发电机后方增设结构风管的方式,加强气体流通,达到了比较理想的气体交换效果。

4 结束语

本文通过介绍船舶机舱通风系统的设计流程,阐述了机舱通风系统在详细设计阶段的风量计算、系统选型,生产设计阶段的模型建立,以及在后期设计阶段运用 CFD 技术对模型进行数值模拟,分析了设计方案的可行性,并能及时做出改动措施,对船舶通风系统的设计具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1]陆洋,李建荣,茅陈松.基于 CFD 的某船货舱通风环境分析方法研究[J].舰船科学技术,2015(7):49-53.
- [2]于学兴,孙廷培.船舶机舱通风系统的设计[J].世界海运,2002(5):52-53.
- [3]王军,陈宁,高霆.船舶虚拟设计的新秀-TRIBON 系统[J].江苏船舶,2005(2):34-36.

Design and Analysis of Ventilation System for the Ship Engine Room

Ji Yu, GU Yi-min

(Dept. of Marine Engineering, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: Taking the ventilation system of a certain container ship's engine room as an example, this article introduces the type selection and three-dimensional duct model construction of the ventilation system. In addition, it applies CFD software to the numerical simulation analysis of the latter stage so as to optimize the design scheme, which is of certain reference value to the design in this field.

Key words: Engine room ventilation; Ventilation rate; Duct modeling; CFD technology