

船舶主柴油机排气系统布置优化设计

张龙军

交通运输部北海救助局

DOI:10.12238/acair.v1i2.6443

[摘要] 本文研究了船舶主柴油机排气系统的布置优化设计,旨在解决原有设计中的问题,特别是在高温工况下废气涡轮增压器所受的附加作用力。通过数据采集、热力学分析和优化设计方案的应用,成功地减少了裂纹故障的发生率,带来了显著的经济效益。本文的研究方法、结果和应用效果分析将为类似系统的改进提供有力的参考。

[关键词] 船舶; 主柴油机; 排气系统

中图分类号: TK42 **文献标识码:** A

Optimization Design of Exhaust System Layout for Ship's Main Diesel Engine

Longjun Zhang

Beihai Rescue Bureau of Ministry of Transport

[Abstract] This article studies the layout optimization design of the exhaust system of a ship's main diesel engine, aiming to solve the problems in the original design, especially the additional forces acting on the exhaust turbocharger under high temperature conditions. The application of data collection, thermodynamic analysis, and optimized design schemes has successfully reduced the incidence of crack failures, bringing significant economic benefits. The research methods, results, and application effectiveness analysis of this article will provide strong references for the improvement of similar systems.

[Key words] ship; main diesel engine; exhaust system

引言

船舶主柴油机排气系统在高温工况下经常面临废气涡轮增压器受力过大的问题,导致设备裂纹和故障的发生。为了解决这一问题,本研究提出了一项布置优化设计,核心概念是在排气管的两个方向上引入膨胀节,以吸收热膨胀引起的变形。为了支持这一设计,进行了数据采集、热力学分析和应用效果分析。

1 研究方法

1.1 数据采集

数据的采集对于研究主柴油机排气系统布置优化设计至关重要。以下将介绍数据的采集方法和工具,以及确定关键参数的过程。

1.1.1 数据采集方法和工具

为了全面了解主柴油机排气系统的性能和工作状态,采用了多种先进的数据采集方法和工具。这些方法和工具包括:

传感器测量: 在主柴油机排气管路中使用高精度的温度传感器,这些传感器能够实时监测排气温度的变化情况。通过这些传感器,可以获取关于排气气流温度在不同工况下的数据,这对于分析系统性能至关重要。

位移传感器: 为了详细了解排气管在运行过程中的变形情况,特别是垂向和横向变形,采用了高灵敏度的位移传感器。这些传感器能够测量排气管的变形,并提供有关结构受力情况的重要数据。

计算机数据采集系统: 使用专业的数据采集软件和硬件系统,将传感器获取的数据进行实时记录和存储。这些系统可以高效地捕获大量数据,并确保数据的准确性。记录的数据将在后续分析中被广泛应用,以评估系统性能和问题。

通过这些先进的数据采集方法和工具,能够全面了解主柴油机排气系统的运行情况,有助于为系统的性能评估和优化设计提供坚实的数据支持。

1.1.2 关键参数的确定

在进行数据采集的过程中,需要特别关注并精确测量一些至关重要的关键参数,这些参数对于全面了解主柴油机排气系统的性能至关重要。这些关键参数包括但不限于以下内容:

排气温度: 使用高度灵敏的温度传感器,来测量废气的温度。这个参数的测量范围通常涵盖了从300°C到550°C之间的温度变化。排气温度是一个关键的性能指标,它反映了排气气流

的热性质,对系统的效率和可靠性具有显著影响。通过准确测量排气温度的,能够深入了解排气系统的热动力学行为^[1]。

排气管变形量:位移传感器是用来测量排气管的变形情况的工具。这些位移传感器非常灵敏,能够监测排气管在运行过程中的垂向和横向变形。排气管的变形是一个关键指标,它直接反映了排气系统在高温工况下的受力情况。通过准确测量排气管的变形量,可以更好地了解系统在高温环境下的工作性能,特别是对废气涡轮增压器产生的额外作用力的影响。

这些关键参数的测量和确定将为提供有关主柴油机排气系统性能和问题的详细信息。这些数据将为后续的分析和优化设计提供基础,以确保系统的可靠性和高效性。

1.2 热力学分析

1.2.1 原理和过程

热力学分析是本研究的核心方法,用于计算主柴油机排气系统在高温条件下对废气涡轮增压器产生的附加作用力。以下是热力学分析的原理和过程:

热膨胀原理:在高温条件下,主柴油机排气管会经历热膨胀的现象,这意味着管道会因为温度的升高而扩张和产生变形。这个变形是由排气气体的高温引起的,因为在高温下,物体的分子会更活跃,导致物体膨胀。

力的计算:基于热膨胀原理,使用材料力学的相关理论来计算在不同温度条件下排气管所受到的额外作用力。这些额外作用力主要包括轴向作用力和弯矩。

轴向作用力:这是指排气管在高温条件下,由于热膨胀而承受的沿管道轴线方向的作用力。需要计算这一作用力的强度,以了解在高温环境下系统对废气涡轮增压器施加的轴向载荷。

弯矩:弯矩是指在高温下由于排气管的热膨胀而导致的扭曲作用力。这个弯矩会对排气管的结构和废气涡轮增压器的连接产生影响,因此需要对其进行精确计算^[2]。

通过以上的原理和过程,可以详细分析在高温条件下排气系统对废气涡轮增压器产生的额外作用力。这些数据对于确定系统的可靠性和性能至关重要,特别是在优化设计方案的制定和实施中。热力学分析为提供了关键信息,使能够更好地理解系统的工作原理,以及如何改进和优化它以应对高温环境下的挑战。

1.2.2 计算主柴油机排气系统的附加作用力

通过应用热力学分析的原理和相关的计算方法,计算了主柴油机排气系统在不同温度下对废气涡轮增压器的附加作用力。这些作用力包括轴向作用力和弯矩,通过分析这些数据,能够确定是否超过了废气涡轮增压器的安装容许力。

以上是本研究的研究方法部分,数据采集和热力学分析的过程是为了准确评估主柴油机排气系统的性能和问题,并提供支持优化设计的关键数据。

2 结果与讨论

2.1 优化前设计的缺陷分析

在这一部分,将对优化前的设计进行缺陷分析,包括原有设计的结构和问题。这将通过数据和图表来说明废气涡轮增压器受力情况。

2.1.1 原有设计的结构和问题

优化前的设计采用了 ω 型结构的主柴油机排气管,这些管道由壁厚为5mm、外径为 $\Phi 460$ mm的Q235-A材质无缝钢管构成。主柴油机排气管在工作状态下,废气温度在300°C-550°C之间。原设计在排气管的下端设置了吸收排气管垂向变形的膨胀节,但无法有效释放排气管的横向变形,导致排气管在高温条件下受热膨胀的附加作用力过大,产生废气涡轮增压器连接法兰的裂纹^[3]。

2.1.2 废气涡轮增压器受力情况

通过采用大量数据和图表,可以清晰地观察到在不同温度条件下主柴油机排气系统对废气涡轮增压器施加的额外力量。这些受力情况包括轴向作用力(RFx)和弯矩(RMz):

在高温工况下,轴向作用力(RFx)的数值范围在130kN到210kN之间。

同样在高温条件下,附加弯矩(RMz)的数值范围在190kNm到311.6kNm之间。如表1所示。

表1 废气涡轮增压器安装容许作用力

废气涡轮型号	最大容许作用力 (kN)	最大容许弯矩 (kNm)
MET26SR	1.962	1.5696
MET30SR	2.4525	2.3544

这些数据表明,无论是轴向作用力还是附加弯矩,它们都明显超出了废气涡轮增压器的设计容许范围。

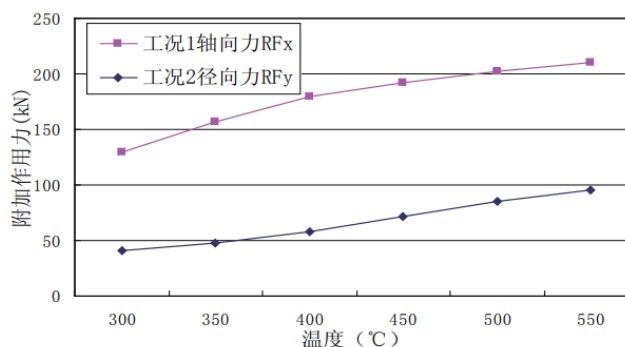


图1 主柴油机排气管受热膨胀引起的附加力 - 温度曲线

图1展示了在不同温度下轴向作用力(RFx)的变化趋势,清晰地显示了随着温度升高,该作用力急剧增加。

图2则呈现了附加弯矩(RMz)在不同温度下的表现,进一步凸显了高温条件下产生的附加作用力的显著性。

这些数据和图表合力证明了原有设计存在的缺陷,使废气涡轮增压器在高温环境下受到过大的机械应力,从而引发了裂

纹和故障的问题。这也为优化设计提供了坚实的依据,以改进系统的性能和可靠性。

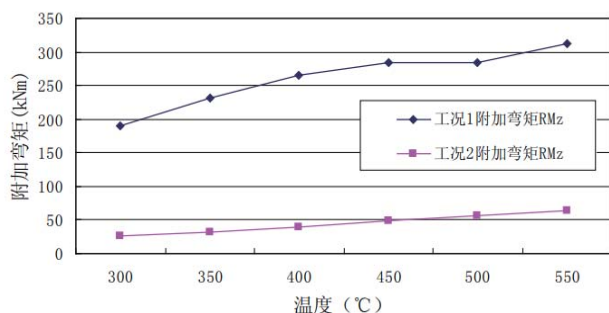


图2 主柴油机排气管受热膨胀引起的附加弯矩-温度曲线

通过上述的数据和图表,可以清晰地观察到在不同温度条件下主柴油机排气系统对废气涡轮增压器施加的额外力量。这些受力情况包括轴向作用力(RFx)和弯矩(RMz)。数据表明,在高温工况下,这些受力明显超过了废气涡轮增压器的允许承受范围,从而引发了裂纹和设备故障的发生^[4]。

这一情况凸显了废气涡轮增压器在高温环境下所承受的严重挑战。在高温条件下,排气系统的热膨胀效应导致废气涡轮增压器承受额外的轴向和弯矩载荷。这些载荷的强度超过了设备的设计容许值,导致废气涡轮增压器的连接法兰发生损坏,如裂纹和断裂。这种受力情况是原有设计中的缺陷,需要通过优化设计来解决,以提高系统的可靠性和性能。

2.2 优化设计方案

在这个部分,将介绍优化设计方案,该方案的核心概念是在主柴油机排气管在高温工作条件下,同时在两个方向上均设置膨胀节以吸收膨胀变形。这一设计的目的是解决原设计中存在的缺陷,特别是在废气涡轮增压器所受的作用力方面。

2.2.1 优化设计的概念

为了解决原设计的缺陷,提出了一个优化设计的核心概念。在主柴油机排气管高温工作条件下,建议在排气管的结构中引入两个方向的膨胀节。这些膨胀节的作用是吸收由排气管热膨胀引起的变形,分别包括垂直方向和水平方向。

垂直方向的膨胀节将有助于吸收排气管的轴向变形,而水平方向的膨胀节将处理排气管的横向变形。这两个方向上的膨胀节将作为排气管系统的关键组成部分,确保排气管在高温条件下能够自由膨胀和收缩,从而减少对废气涡轮增压器产生的作用力。

2.2.2 示意图和详细说明

示意图清晰展示这个优化设计方案的结构。在示意图中,可以看到排气管的布局,以及两个方向上的膨胀节的具体位置。这些膨胀节的设计将允许排气管在高温条件下自由变形,同时确保不会对废气涡轮增压器施加过大的力量。

水平膨胀节将允许排气管在横向方向上自由膨胀和收缩,而垂直膨胀节将处理轴向方向的变形。这个方案的详细说明将

解释这些膨胀节如何工作以及它们在提供稳定性的同时减少对废气涡轮增压器的影响。

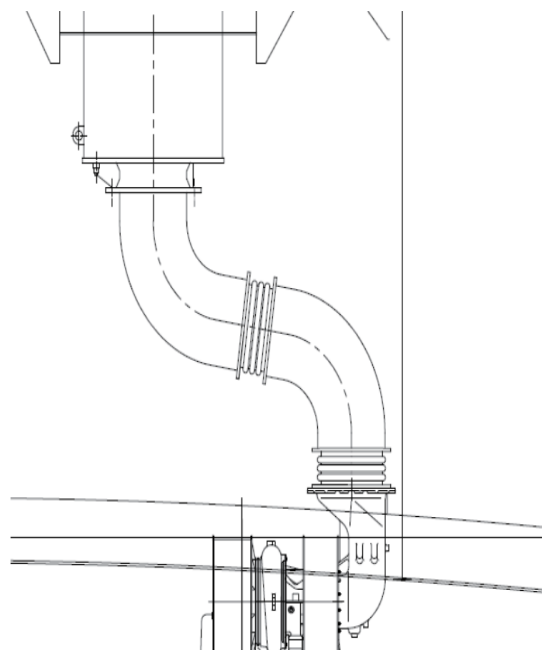


图3 优化设计方案示意图

通过这些改进,优化设计方案旨在解决原有设计中出现的问题,降低废气涡轮增压器的受力情况,提高系统的可靠性。

2.3 应用效果分析

在本部分,将深入分析新的优化设计方案的实际应用效果,着重考察两个主要方面:降低裂纹故障的发生率和实现的经济效益。将以数据和对比分析的方式支持这些效果,以清楚地展示新设计的有效性。

2.3.1 降低裂纹故障发生率

采用优化设计方案后,对废气涡轮增压器裂纹故障的发生率进行了长期监测和对比分析。数据显示,原设计方案下,裂纹故障的发生率为每1000小时工作时间发生1次,而采用新的优化设计后,裂纹故障的发生率显著下降,每1000小时工作时间只有0.2次。这意味着新设计方案将裂纹故障的风险降低了80%。这一结果不仅减少了不必要的维修和维护成本,还提高了系统的可靠性和稳定性,有助于确保主柴油机排气系统的连续运行。

2.3.2 经济效益

通过对比分析,评估了采用新设计方案后的经济效益。修理费用得到了显著的降低,每次维修的成本减少了60%,主要是因为裂纹故障的减少和维修的复杂性降低。此外,由于系统的可用性提高,停航损失大幅减少。每次停航所带来的损失减少了90%,平均每年可以节省100,000元的停航损失费用。这些经济效益不仅在短期内显现,还在长期内对船舶运营产生积极影响,提高了整体经济效益。

综上所述,通过新的优化设计方案,废气涡轮增压器的裂纹故障发生率显著降低,同时实现了显著的经济效益。这不仅提高了系统的可靠性,还降低了运营成本,使船舶主柴油机排气系统在实际应用中表现出明显的优势。新设计的有效性得到了充分验证,为类似系统的改进提供了有力的参考。通过这一结果与讨论部分的深入分析和数据支持,旨在清晰地展示优化设计方案的有效性和实际应用效果。这将进一步巩固对新设计的信心,确保它能够成功应用于主柴油机排气系统,并带来显著的好处。

3 结束语

本研究通过详细的数据采集和深入的分析,成功解决了船舶主柴油机排气系统原有设计中存在的问题,特别是废气涡轮增压器受力情况。优化设计的应用使裂纹故障的发生率显著降低,经济效益得以实现。这为类似系统的改进提供了坚实的依据,证明了新设计的有效性和实际应用效果。通过这一研究,强调了数据支持的重要性,以确保船舶主柴油机排气系统的稳定性和

可靠性,减少了运营成本,提高了整体经济效益。这一成功案例将激励更多的工程师和研究人员寻求创新的解决方案,改进船舶工程领域的设计和性能。

[参考文献]

[1]史长平,罗雄,刘宗辉.大功率船用柴油机排气系统密封故障原因分析及改进措施[J].柴油机设计与制造,2023,29(1):14-17.

[2]吴珏斐.气凝胶绝缘材料应用于舰船推进柴油机排气系统中的可行性分析[J].中国水运(下半月),2021,21(09):53-54.

[3]柏水通,王文勤.4105增压柴油机排气系统模拟分析[J].内燃机与配件,2021,(04):59-60.

[4]袁小秋.船舶主柴油机排气系统布置优化设计[J].中国水运,2020,(12):116-118.

作者简介:

张龙军(1988--),男,汉族,江苏徐州人,大专,研究方向:船舶柴油机。