

船舶管路系统振动分析与控制研究

李方宇 徐欢 徐飞

(江南造船(集团)有限责任公司研究院, 上海 201913)

摘要 在船舶行驶过程中, 各种问题的发生是在所难免的, 尤其是管路系统振动, 其严重影响着船舶的正常行驶。所以, 随着船舶行业的迅速发展, 管路系统振动问题已引起业内人员的高度关注, 致力于分析研究造成管路系统振动的根本原因, 且重视对振动控制措施的探索, 借此以确保船舶运行的安全性。基于此, 本文就船舶管路系统振动及其控制措施进行研究, 以期对优化船舶管路系统、确保船舶行驶的安全性有所助益。

关键词 船舶 管路系统 振动 噪声

中图分类号: U66

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)06-0001-03

对船舶管路系统而言, 可根据输送流体的不同将其分成以下几种类型, 主要包括燃油管路、通风管路、液压管路、滑油管路、淡水管路、海水管路等等。如果船舶的管路系统发生振动, 不但会对船上人员的日常生活及工作产生极大的影响, 而且还会影响到船舶各类系统、设备的稳定运行。所以, 分析掌握引起船舶管路系统振动的原因及有效控制技术是十分必要的。

1 船舶管路系统振动的基本特征

在船舶行驶过程中, 对内部各系统有着比较高的要求; 内部系统是传播动力设备不可或缺的部分, 可提供船舶正常运行所需的动力, 并且还会形成各式各样的振动。船舶管路系统具备广泛分布的特征, 如果管路系统出现振动, 则会将振动传至船体结构。^[1]所以, 应对管路系统振动进行严格控制, 降低振动噪声, 确保传播安全。相关研究表明: 造成船舶管路系统振动的原因主要有以下两点:

1. 在动力设备运作过程中, 向管路系统传递振动。动力设备与管路系统是相互连通的, 如果设备发生振动, 则可将能量传递到管路系统处, 从而引起管路系统的振动。在此过程中, 管路系统振动有着与动力设备完全相同的频谱特征, 振动峰值通常会在低频位置出现。

2. 船舶管路系统中流体形成的影响。当动力设备输送流体时, 则会进行流体做工, 由于受管路系统内有关设备特征造成的影响, 通常会引起旋流或空化问题, 从而对管路产生撞击, 形成极强的振动。在此情形下, 管路系统不但会遭受流体动力噪声造成的影响, 而且还聚集着水流噪声, 大都聚集于高频区域。除此

以外, 管路系统中的元件或者阀门, 因为具备通道和流道面积改变的特征, 极易引起振动, 因为此些设备相对集中, 所以噪声也是高度集中的, 具备高频特征, 对管路系统有着程度各异的影响。因为引起管路系统振动的原因有所差异, 所以其呈现出的特征也是完全不同的。为了有效控制管路系统振动对船舶产生的负面影响, 应当根据实际情况, 充分掌握船舶管路系统振动的基本特征及形成原因, 而后采取针对性的措施, 以确保船舶运行的安全性。

2 管路系统振动与船舶总体噪声的关联分析

2.1 管路机械振动的影响

船舶由于机械运动而形成扰动力激励, 且辐射的噪声量级和船体所受的激振力密切相关, 因为结构机械阻抗、振动加速度是极易通过测量获取的参数, 同时激振力可以用阻抗与加速度的乘积来表示, 所以激振力可经由结构机械阻抗及振动加速度取得。在对船舶总体噪声影响进行分析和比较时, 同样可以参考振源的振动加速度及结构的阻抗参数进行全方位的判断。^[2]在船舶隐蔽行驶条件下, 机械设备是引起船舶总体噪声的根本扰动源, 设备形成的扰动力大多是经由管路支撑工件与设备安装支撑结构传播至船体激励船舶振动而引起噪声。根据具体的测量数据分析可以发现, 管路马脚处的振动加速度级与机械设备安装基座的振动加速度级相比大约高 7-10dB, 但相应的阻抗差距却超过 20dB。根据激振力与阻抗、加速度的关系可以发现, 管路对船舶造成的激振力与机械设备对船体造成的激振力相比低 10dB 左右, 由此可知, 由管路机械振动引起的激振力是可以忽略的。

2.2 管路流体噪声的影响

根据以上对机械振动激励力量级的研究可知,管路振动对于船舶的激励力与机械设备经由机脚对船舶得到激励力相比来说是完全可以忽略的。然而,管路引起的振动噪声在中高频段有着非常高的分量。在此频段范围内,管路马脚的振动加速度与设备安装基座面板的振动加速度相比要高 15dB 左右。因为马脚与艇体直接相连的,马脚振动量级与周围部位的振动量级大致相同。但是,基座面板与艇体间仍有较大的距离,机脚中高频振动在向船体传递的过程中也会有不同程度的衰减。所以,在中高频段,管路马脚对于船体的振动激励力与设备机脚经由安装基座结构对船体的激励力相比要高。在中高频段,管路系统振动对于船舶总体噪声具有非常大的影响。^[3]

3 船舶管路系统常见振动现象及控制措施

3.1 机舱管路振动

引起机舱管路振动的原因主要有:

1. 管内流体脉动。在管路进行流体输送的过程中,应将泵加压或者压缩机当作根本动力,此类间歇性的加压形式必定会造成流体速度、压力等有关参数出现脉动,主要包括速度脉动与压力脉动。在船舶运行中,因为流体脉动而形成施加于管路内的干扰力,同时还是速度和压力脉动相互作用的结果。当流体遇到异径管、弯管头、盲板以及控制阀等部件时,通常会形成相应的周期性干扰力,进而对管路形成周期性激励,引起管路系统振动。以柴油机滑油循环管路为例,因为滑油在管路系统内长期处在循环状态,柴油机转速因为各缸交替燃烧做功而产生波动,造成机带滑油泵也发生转速变化。在油泵转速增加时,滑油管则会产生瞬间高压;在油泵转速下降时,滑油管则会产生瞬间低压。因此会引起油压出现周期性的波动,使得管道中的滑油呈现为脉动状态,导致管中滑油参数不但会随着时间发生周期性波动,同时还会随位置发生变化。

2. 机械结构振动。船舶机舱主要是由主辅柴油机、空压机以及分油机等各类动力设备所构成,其形成的机械振动经由对应的支撑结构而向船体传递,进而引起机舱振动。机舱管路交叉分布于船舶机舱当中,如果机舱环境发生振动,则会经过管路支架、管壁等相关部件传递给管路;并且,各种动力设备在运行中形成的振动同样会通过气、水、油等流体介质向关联管路传递,进而引起机舱管路系统发生振动。

机舱管路振动的控制措施如下:

1. 控制管道中流体脉动。第一,不断改善泵浦等原动机结构参数及形式等,采用合理、有效的控制方法,使输出的流量脉动与压力脉动有所下降;第二,对阀门启闭方法进行更加科学的设计,降低启闭时的流体脉动;第三,在管路系统中加装稳压又或是储能设备,以减小管道中流体压力的变化。

2. 控制周边振源的影响。船舶内部管路系统密集分布,周围有着大量的机械设备,振动环境十分复杂。为了实现对管路系统振动的有效控制,往往会利用隔振部件将管路与机械设备相互隔离开,以降低振动能量的传递。加装隔振部件,可有效隔离机械设备自振对船体结构的影响;除此以外,还可以间接性地缓解船体结构振动经由管路支撑结构对于管路系统的振动激励,防止发生间接性激励管路结构共振的问题。对船用机械设备来说,其经常使用的隔振器包括:金属类主要有隔振吊架、减震器、钢丝绳、钢丝网等隔振器;橡胶类主要有减震器和隔振垫等等。

3. 防止流体或者管路共振。第一,对激励源频率进行控制,使得其能够回避被测对象的共振频率;第二,转变被测对象的固有频率,确保其远离激励源频率。对船舶管路系统来说,其共振主要有管道机械共振与流体柱共振两种形式。从管道机械共振角度来看,往往采取改变支撑状态、管路分布等方式,使得其固有频率可完全回避激励源频率;从流体柱共振角度来看,可采取调整夜压力、流体压力等形式加以控制。^[4]

3.2 压力管路振动

从船舶管路系统振动角度来看,压力管路振动是最常见的问题之一。^[5]压力管路振动的危害性主要表现在以下方面:一方面,压力管路振动可造成管路撕裂等状况,造成整个管路系统难以正常运作;另一方面,压力管路振动或许会造成空气噪声以及向船体结构传递而产生结构噪声,针对部分用途独特的船舶而言是无法接受的,比如军舰、豪华邮轮等等。当前,对压力管路振动进行控制的常用措施主要包括:(1)安装弹性吊架、弹性支承和阻尼器,构建振动形变空间,避免发生撕裂现象;(2)转变管路固定频率,常用手段包含改变壁厚、重新布设支架以及外壁加装减振阻尼等等;(3)增加管径、改善管路分布、减少弯头等,以降低振动;(4)安装蓄能器,以缓解管中介质的振动;(5)缩减管路插入部件或者替换低阻尼元件。

3.3 主机燃油供给管路振动

引起主机燃油供给管路振动的原因主要有:

1. 管路现场放样不合理的设计。船舶主机燃油的供给管路往往是“千回百折”的,存在非常多的拐点,舱底与管路间有着较远的距离,管道支撑太长、管码强度偏低,如此便为主机燃油供给管路构建起相应的振动空间,同时管路抵抗振动的能力相对较弱,以上则会导致燃油供给管路发生更加严重的振动。

2. 柴油机振动的影响。船舶主机往往采用的是柴油机,如果柴油机的回转发生问题,比如不稳定、不平衡等,则极易引起振动问题,因为其底座安装有弹性设备,如此便容易造成主机燃油供给管路发生振动。如果船舶处在高速行驶的状态,柴油机的自振强度则会有所提升,进而将此振动传递至与其相连的燃油供给管路中,导致与其相连的燃油供给管路出现振动。如果柴油机处在额定转速的状态,相应的振动频率计算公式如下:额定转速 \times 柴油机数量 $/2/60$,此类振动主要源自于缸体发火,相应地产生了不平衡的侧推力,进而造成振动。

3. 高压脉冲的影响。柴油机喷油并非是持续性的,高压油泵在具体吸油环节极易导致燃油总管路产生瞬时低压,压缩以后又会引起瞬时高压,柴油机每运作两个周期后,柴油机便会进行一次喷油。如果脉冲频率与燃油管路固有频率相同或者两者呈倍数关系时,管路振动幅度同样会有所上升。

主机燃油供给管路振动的控制措施如下:

1. 对管路固有频率进行调整。优化燃油管路分布情况,减少弯管数目,同时需相应地调整管路支撑高度,在此前提下加装多个管子支架,使得布局更加密集,并且应确保支架强度符合要求,进而实现调节燃油管路频率的目标。

2. 对管路尺寸进行调整。主机燃油供给管路的内径并非是完全相同的,如果管路内径比较小、且与主机内部燃油总管的直径存在较大差距时,在流量不变的情况下,则会造成主机外燃油管路极高的内部压力,基于该点则需增加管路的通径,如此才可实现对管路振动的高效控制。

3. 加装管路蓄能设备。柴油机具备自身相应的运行方式及工作机理,这代表着燃油总管内压力脉动的产生是不可避免的,也恰是由于受脉动的影响,才会引起管路系统的振动,在振动达到特定强度时,需以合理的方式对脉动能量进行控制,进而实现减振的目标。经过加装管路蓄能设备,可有效降低管内压力脉动强度。在选择蓄能设备的过程中,需根据船舶的具

体特征,主要包含机舱的工作原理、内部架构、空间大小等等,优先选择结构稳定、体积小、易于安装的蓄能设备。可考虑将蓄能设备安装于主机的进油管路系统中,即主机与回油管路相连的地方;并且利用高压软管将主机构造与外部管路相互分离开,进而实现对主机振动的集中性控制,降低振动传播,以提高机械隔振的效果。

4. 严格控制燃油总管的供油压力。正常情况下,燃油供泵出口位置处的压力通常被设置成固定的压力值,该数值一般是 0.92MPa ,燃油相应的脉冲能量同样会跟随其压力的加大不断升高。燃油供泵的根本作用就是提供柴油机所需要的供油压力,所需的压力值大约为 $0.5\sim 0.962\text{MPa}$,可对燃油供给泵压力值进行适当的调整,然而其根本前提为应满足柴油机的各项要求。

4 结论

综上所述,船舶管路系统振动对船舶的安全行驶有着极大的负面影响,所以需强化对船舶管系振动的控制。从船舶管系振动角度来看,其具有十分明显的特征,且与船舶的总体噪声存在着极其密切的联系。现阶段,船舶管路系统常见的振动现象主要有有机舱管路振动、压力管路振动、主机燃油供给管路振动等等。我们应不断创新管系振动控制技术,以有效控制船舶管系振动,进而确保船舶行驶的安全性。

参考文献:

- [1] 吴江海,尹志勇,孙凌寒,等.船舶充液管路振动响应计算与试验[J].振动·测试与诊断,2019,39(04):832-837,908.
- [2] 胡义,刘佳佳,李武超,等.基于STM32的船舶管路振动应急处理系统设计[J].自动化与仪表,2017,32(05):53-56.
- [3] 余欣.船舶管路中高频振动成因分析及控制策略研究[J].山东工业技术,2017(07):26.
- [4] 梁春雨,张新玉.基于ANSYS和Flowmaster的船舶主机燃油供给管系振动优化仿真分析[J].中国修船,2013,26(02):14-16.
- [5] 梁向东.管路振动噪声对船舶总体声隐身特性的影响[J].噪声与振动控制,2010,30(06):127-128,135.