

船用柴油机的噪声控制研究

李方宇 徐 飞 徐华彪

(江南造船(集团)有限责任公司研究院, 上海 201913)

摘 要 近年来, 船舶行业“高速化、大型化”趋势明显, 同时噪声及振动问题也更加严重, 对船员的日常工作和生活有着极大的负面影响。尤其是对于轮机部人员而言, 噪声污染已成为亟待解决的问题。当前, 全球各国船东对船舶舒适性已引起高度重视, 对船舶噪声提出更加严格的要求。对船舶来说, 柴油机既是其根本动力来源, 又是其最大的噪声来源。基于此, 本文就船用柴油机的噪声控制进行深入的研究, 以期对船用柴油机的噪声控制优化和改良有所助益。

关键词 船舶 柴油机 噪声控制

中图分类号: TB53

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)07-0137-03

伴随社会经济的迅猛发展及对环境保护要求的日益提高, 噪声污染已成为人们重点关注的污染问题, 且与水污染、空气污染并列“三大污染源”。为了避免船舶行业发生噪声污染问题, 全球许多国家都出台了大量与船舶噪声控制相关的法规及标准。德国是全球首先提出降低船舶噪声标准的国家, 其在1968年时就已经发布“联合公约”, 对船舶各环节的噪声标准都有着明确的规定。国际海事组织发布“国际防止船舶污染公约”, 不仅提高了船舶柴油机废气排放的标准, 同时对噪声污染和危害引起重视且出台很多关于噪声控制的标准。从船舶噪声污染角度来看, 有3/4左右的噪声源自于内燃机。伴随船舶制造技术的日益创新发展, 柴油机逐渐向“大功率、高速化”方向发展, 由此而引起更加严重的噪声问题; 与此同时, 当今社会人们对噪声问题有着越来越严格的要求, 从而引起相关人员对船用柴油机噪声控制的高度重视。

1 船用柴油机噪声测量技术

第一, 应对柴油机噪声源进行划分, 在具体实践中, 应当分别运行以准确分析柴油机噪声的来源, 对所有部件进行全面检查后, 再评定噪声的对应等级。对机械噪声和燃烧噪声而言, 其分辨难度比较大, 可依据有关规定加以处理。比如: 早在二十世纪六十年代, 日本、美国等国家的高校就已经对噪声测量及控制技术展开较深层次的研究, 且开发出比较先进的噪声预报和识别方法以及相应的噪声控制技术。通过对某船用柴油机的噪声测量分析, 其柴油机的型号为“6L20/27”、额定功率是600kW。首先对排气噪声进

行测量, 其次对声压级进行测量。再如: 在某项目测量过程中, 排气噪声达到109.8dB、属于是低频噪声, 声能处于31.5~500Hz范围内。与排气噪声相比, 进气噪声显得更大, 同时表现出显著的中高频特性。经过对燃烧、机械以及风扇等噪声的测量可以发现, 柴油机最大噪声源就是排气和进气噪声^[1]。

第二, 应对表面辐射噪声加以明确, 现阶段常用的分析方法主要有声通道法、振动测量法以及铅板覆盖法等。

第三, 确定空间噪声测量规范及测量手段, 经由分析可知柴油机内部工件和空气波动极易导致空间噪声, 利用“‘CIMAC’推荐的对于测量往复式柴油发动机整体噪声”对噪声级实施测量, 同时以数值来显示噪声相应的声压级。经过对柴油机周围点的测量, 计算出平均声级便可得到声强的均值, 同时需基于柴油机的体积大小来确定具体的测量位置, 选取3个不同的位置, 且各位置与柴油机间的距离应保持在1m左右。

2 船用柴油机常见噪声及其控制措施

2.1 风扇噪声

船用柴油机风扇噪声主要是因为冷却风扇不停地转动而形成的, 其噪声大小与风扇转速成正比。风扇噪声是因为风扇叶片空气进行切割又或是风扇后的部件所形成的空气紊流而引起的, 经过改变风扇叶片的材料、形状、数量或者是调整风罩、风扇和散热器的相对位置, 就能够有效控制柴油机风扇噪声。

第一, 风扇叶片的材料、形状及数量。风扇叶片的形状对风扇效率影响也很大。从叶片材料角度来看,

其对风扇噪声有着不同程度的影响。比如：与冲压钢板叶片相比，铸铝叶片的噪声更小；尼龙叶片相较于金属叶片的噪声更小^[2]。正常情况下，如果材料的损耗系数比较大，则其噪声也就较大。从叶片形状角度来看，其对叶片周围的涡流强度有着直接性的影响，进而对风扇效率产生影响。所以，优化叶片形状，使其具有更加适宜的弯曲角度及更好的流线型，不但有助于降低涡流噪声，同时还能够在很大程度上加强风扇效率。从叶片数量角度来看，在转速未发生变化的环境下，如果叶片数量有增加，则可提高风扇的风量；又或是在保持同等风量的基础上，可使风扇转速有所降低，进而降低风扇噪声。然而，如果叶片数超过6片，则风量增加也就十分有限，同时在降噪特性方面通常有着负面影响。在风量相同的条件下，高速窄叶风扇通常较低速宽叶风扇造成的噪声声压级高4dB(A)，同时功率消耗也高27%。减少护风圈和风扇的间隙，避免气流发生紊乱，可有效控制风扇噪声。根据相关研究可知，如果间隙为0，则风量可以增加27%、噪声降低3dB(A)，降低转速使得风量恢复至最初水平，噪声还可降低2dB(A)^[3]。

第二，风罩、风扇和散热器的相对位置。风扇噪声的降低，同样需充分考虑风扇冷却系统的结构参数及所有部件间的互相位置。合理调整风罩和风扇间的间隙、散热器和风扇间的距离，有利于实现风扇噪声的降低。如果散热器和风扇间的距离有所增加，则风扇的冷却能力、噪声以及流量等均需增加。与此同时，各自在某点达到相应的最大值时，而后依次减小。根据相关试验可知，散热器芯子与风扇端面间的距离过远或者过近，会产生回流现象或者形成无风区。散热器芯子与风扇端面间的距离应当是风扇直径的10%左右，如此不但可以全面发挥出风扇的冷却能力，而且还能够将噪声控制在最低水平。风扇前后的导风罩同样是引起涡流噪声的主要来源，风扇入口处应呈现流线型，导风罩和风扇构成的气流通道外表应确保光滑，以优化冷却风的流动状态，进而促使冷却系统噪声的降低。导风罩和风扇间应当有适当的距离，径向间隙通常控制在风扇直径的2.5%左右，最大不得超过3%，否则将会对风扇效率产生极大的影响。一般情况下，风扇与导风罩的前后关系为：有2/3风扇投影宽度在导风罩内；风扇在导风罩中的宽度应为风扇叶片宽度的1/3^[4]。

2.2 燃烧噪声

船用柴油机的燃烧噪声根据其燃烧过程可分为四

个不同时期：滞燃期、速燃期、缓燃期、补燃期。

第一，滞燃期。燃料还没有燃烧，仍在进行着相应的化学及物理准备，气缸内的温度及压力有较小幅度的变化，所以对噪声的影响也是非常小的；然而，滞燃期对于燃烧过程的影响是极大的，所以对于燃烧噪声有着间接性的影响。

第二，速燃期。燃料快速燃烧，气缸中的压力快速上升，对柴油机的振动及噪声有直接性的影响。对速燃期压力上升有影响的因素主要包括着火延迟期以及供油规律等。着火延迟期愈久，喷入气缸中的燃料也就愈多，压力也就会快速上升。

第三，缓燃期。气缸压力上升，然而速率较低，所以可引起不同程度的燃烧噪声，然而对噪声并没有明显的影响。在此时期，主要是对柴油机的经济性及动力性产生影响。

第四，补燃期。由于活塞处于下行状态，同时大部分燃料在前两个阶段已完全燃烧，因此对燃烧噪声并无太大的影响。

船用柴油机燃烧噪声的控制措施如下：首先，从形成根源方面看，应推动气缸压力频谱曲线的降低，尤其是降低中高频的频率成分。对于此，可采用有效措施以减少滞燃期内产生的可燃混合气量，相关措施主要包含选择较高十六烷值的燃料、增加压缩温度及压力、采用低噪声的燃烧室、组织强度适宜的气体流动、合理延长供油时间、科学组织供油等等。其次，从噪声传播渠道方面看，提高柴油机结构对于燃烧室噪声的削弱，尤其是中高频频率成分的削弱。对于此，可采取如下措施：提升缸套和机体的刚性、缩小活塞曲柄连杆机构各部件间的距离、选用合理的隔声和隔振手举措以及增加油膜厚度等等。

2.3 排气噪声

船用柴油机的排气噪声主要是因为周期性“高温、高压、废气”排放，导致四周空气的密度及压强受到大量扰动而引起的噪声，其常见类型有：

第一，基频排气噪声，当开启气缸排气门时，气缸内部的燃气则会以高速向外喷出，气流冲击到气门周围的气体上，导致其发生压力剧变而产生压力波，进而形成噪声。因为排气门是周期性运作的，所以此类噪声同样是周期性出现的，有着显著的低频特性。

第二，管道内气柱共振噪声，管道内的空气柱，由于受到周期性排气噪声带来的影响，因形成共振而引起空气柱产生共振噪声。

第三,气缸亥姆霍兹共振噪声,当单缸机排气门处于开启状态时,气缸和排气管相互连通,这时排气管内的气体在声波影响下而发生运动,具备相应的惯性及质量,又可称作“声质量”;此外,充满气体的气缸就像是“弹簧”,具备影响压力变化的特征,称作“声顺”,由其共同组成了亥姆霍兹共振器,因为气缸中气体的共振,从而引起噪声。

第四,废气喷注与冲击噪声,在自由排气过程中,排气门位置处会因为较高速度的气流喷注而形成极大的喷注噪声;因为气体具有粘性,在排出废气以后,则会带动排气门后的气体同时运动,形成卷吸作用,导致四周气体形成旋转、出现涡流,辐射出涡流噪声^[5]。除此以外,排气门周围有着气体压力的不连续面,形成冲击波,进而引起冲击噪声。

总之,柴油机排气噪声含有大量比较复杂的成分,各类成分有着不同的形成机理,且其频谱特性也是完全不同的,所以,控制排气噪声是非常严峻的任务。现阶段,对于船用柴油机排气噪声,最为有效的控制方式就是设计出性能更强大的排气消声器。

3 船用柴油机噪声控制技术发展趋势

3.1 进排气消声系统设计技术

对于柴油机火星熄灭消音器及进排气消声器的设计而言,火星熄灭效率、阻力损失以及声学性能的试验测量和计算方法是其根本前提所在,充分结合各类因素造成的影响(主要包含穿孔部件、三维气体流动效应、净化载体、吸声材料、火星熄灭部件以及降阻部件等等),开发精准度更高的试验测量及计算方法是未来发展的主要趋势,同样是挑战性极大的研究内容。从柴油机进排气消声器的发展趋势看,主要包含结构更加紧凑、消声量更高、流动阻力更低、动态插入损失更加稳定等。为实现对消声器插入损失的精准预测,则应充分掌握柴油机进排气噪声源的阻抗大小,采取多负载法取得声源阻抗是切实可行的方式,科学化负载匹配是精准掌握进排气声源阻抗的重点所在。

3.2 声源识别技术

现场环境下,船用柴油机燃烧噪声与机械噪声及其特性识别的精确程度,对于船用柴油机的低噪声设计、噪声控制设计以及最终测量结果是否能够用于噪声预报检验等有着直接性的影响。近几年内,频谱测量分析技术、声列阵测试技术、声场重建、声源分离技术、小波分析技术、波束形成等技术的快速发展,

使得轻度混响条件下柴油机噪声源的识别及分离成为可能。未来的发展趋势是,开发更加精准的可用于识别柴油机各种噪声的方法和技术。探索效率更高的噪声测量技术,把握柴油机噪声的空间布局状况和具体流动方向,对噪声源进行更加精准的定位。

3.3 低噪声设计预报技术

对柴油机噪声预报技术进行更深层次的分析,处理好当前噪声预报技术所面对的难题,借此以提高预测数据的精准度。比如:“在特征波数处解的非唯一性问题”是边界元方法研究在全波数范围内对振动声辐射进行精准计算所亟待解决的技术难题;在柴油机运行环节通常会出现各式各样的随机激励力,对模型进行科学的加载是提高噪声预测精度的关键因素;对于整机预测而言,应采取子结构法,考虑曲轴、机体、气缸盖、连杆、主轴承盖、气缸套以及主轴瓦等与各主要螺栓间的联合作用,并且还需对外力传递进行更加精准的模拟。经过探讨声辐射模态方法在控制柴油机噪声方面的运用,明确对柴油机辐射噪声有所影响的主要模态,进而大大提高柴油机噪声的控制效果。

4 结论

综上所述,随着全球船舶制造业迅速发展,船舶噪声问题尤其是柴油机噪声问题也逐渐暴露出来,且已引起业界人士的高度重视。现阶段,船用柴油机常见的噪声问题主要有风扇噪声、燃烧噪声、排气噪声等等。未来,应积极推动柴油机声源识别技术、进排气消声系统设计技术、低噪声设计预报技术等技术的创新发展,以实现对于船用柴油机噪声的有效控制。

参考文献:

- [1] 丁虎,陈曦明,杜敬涛,等.负荷对船用低速柴油机燃烧噪声的影响机理[J].船舶工程,2019,41(S1):174-177.
- [2] 闫超群,王韶枫,韩霄,等.船用柴油机油底壳薄壁结构低噪声设计方法研究[J].柴油机,2019,41(03):32-35.
- [3] 于继清.基于边界元的船用柴油机振动噪声特性分析[J].科技与创新,2018(23):19-20,25.
- [4] 刘晨,张文平,曹贻鹏,等.船用柴油机增压器压气机高效工况气动噪声预测[J].哈尔滨工程大学学报,2019,40(04):759-766.
- [5] 孙化栋,张守俊.船舶柴油机的噪声控制[J].天津航海,2009(02):19-21.