

减振与降噪

船用柴油发电机组悬置隔振特性及隔振器选型分析

胡联雄¹, 陆卫东¹, 黄学建², 关德龄², 王 华³, 陈湘陵²

(1. 上海华泾电站设备有限公司, 上海 200444; 2. 西部钻探克拉玛依钻井公司, 新疆 克拉玛依 834000;
3. 中冶宝钢技术服务有限公司, 上海 200941)

摘 要: 针对船用柴油发电机组悬置隔振特性进行了分析, 指出: 传统隔振理论用于柴油发电机组有一定的缺陷, 由于柴油发电机组悬置支撑的弹性作用等因素使振动传递率曲线在高频段上扬, 隔振效果变差。就柴油发电机组的隔振器选型原则、安装布置进行了分析, 并辅以实例说明。

关键词: 船用柴油发电机组; 隔振; 悬置; 选型

中图分类号: TH703.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)03-0041-04

Suspension Vibration Isolation Characteristics of Marine Diesel Gensets and Type – selecting of Vibration Isolators

Hu Lianxiong¹, Lu Weidong¹, Huang Xuejian², Guan Deling², Wang Hua³, Chen Xiangling²

(1. Shanghai Huajing Power Station Equipment Co., Ltd., Shanghai 200444; 2. Karamay Drilling Company, West Drilling Engineering Company Limited, CNPC, XinJiang Karamay834000; 3. MCC Baosteel Technology Service Co., Ltd., Shanghai 200941)

Abstract: Vibration isolation characteristics of marine diesel gensets are analyzed, and it is pointed out that the traditional vibration isolation theory has some defects when applied on diesel gensets. Because of the elastic effect of diesel gensets' suspension support, the vibration transmission rate curve goes higher in high-frequency section, thus get poor vibration isolation effect. Analysis was carried out on the principles of type-selecting of vibration isolator, as well as installation and layout, and an application example is given to explain the theory.

Keywords: marine diesel genset; vibration isolation; suspension; type-selecting

0 引 言

船用柴油发电机组作为船用常供动力, 也是轮船的主要振动源之一。船用柴油发电机组一般结构是: 柴油机与发电机由联轴节连接, 悬置并通过隔振器安装在公共底座上, 整个机组固定在船体机座上。下面针对船用柴油发电机组悬置隔振特性及隔振器选型进行分析探讨。

1 柴油发电机组悬置隔振特性分析

船用柴油发电机组是船舶主要振动源之一, 其

悬置隔振性能的优劣直接关系到机组振动向船体的传递。按照传统的隔振理论, 在对机组悬置系统建模时, 认为悬置元件是连接于刚性无限大的基础之上的, 被支承机组是绝对刚体, 悬置隔振元件(弹簧悬置或橡胶悬置)由没有任何质量的理想弹簧和理论阻尼器组成, 基础是绝对刚体且质量为无限大。从上述假定出发, 对于简单隔振系统, 只要激振频率比系统固有频率大 $\sqrt{2}$ 倍, 就有隔振效果, 且激振频率越高, 隔振效果越好, 但实测传递率曲线并非如此。当激振频率处于低频段时, 传递率曲线呈下降趋势, 当激振频率处于高频段时, 传递率曲

线出现上扬,隔振效果变差。其主要原因有:①发动机支承多为薄壁件与车身连接,即基础不是绝对刚体,而是有一定弹性的,质量也不是无限大;②机组本身并不是绝对刚体,有盘片或者高弹性联轴器等接合面,还有水箱、控制箱等其它附件,在高频下显得刚性不足,在声频范围内有许多共振波峰;③悬置元件本身是具有一定质量的弹性体,在高频下产生驻波效应。以上三个方面的综合效果使得高频段的传递率曲线上扬。

2 隔振器的选型分析

2.1 减振法的分类

减振法有三类:

(1) 减小扰动:减小或消除振动源的激励。如采用各种平衡法来改善柴油机的平衡性能,必要时甚至更换机型;提高动、静平衡要求;对于具有较大辐射表面的薄壁结构,敷上必要涂料增加阻尼,以减弱声振动的激励;对于船舶,采用适当的螺旋桨叶梢安装间隙及艏部流线形状,可减小螺旋桨的不平衡流体动力。

(2) 防止共振:防止或减小振动的响应。如改变振动系统的固有频率(如改变船体主要尺寸,采用局部加强结构,装设减振器等);改变振动系统的扰动频率(如改变机器的转速、采用不同叶数的螺旋桨等);防止主机的扰动特性和船体振型特性之间的不良配合;装设辅助性的质量弹簧系统;增加阻尼以增加能量逸散,降低共振振幅。

(3) 采取隔振措施:减小或隔离振动的传递。按照传递方向的不同,可分为两类隔振形式。

① 积极隔振:减小由物体扰动而引起的振动,目的在于隔离振源。如动力源、动力机器、回转机械的隔振。

② 消极隔振:减小由于机座运动而引起的振动,目的在于隔离响应。如电子仪表、贵重设备、精密仪器、易损器具的隔振。

这两类隔振的概念虽然不同,但是实施的方法却都一样,即通过在物体和机座之间装设隔振器作为弹性支承来实现的。

2.2 衰减指标

评价隔振效果的相关衰减指标如下。

(1) 隔振效率(又称减振度)用于积极隔振系统中,它代表当采取隔振措施后,传到机座上的传递力(力矩)较诸外界的扰动力(力矩)减小的程度,用百分数表示:

$$I = \frac{F_0 - F_{T0}}{F_0} = \frac{M_0 - M_{T0}}{M_0} = (1 - T_A) \times 100\%$$

式中: F_0 为扰动力的幅值, kg; F_{T0} 为通过隔振器传给基座的传递力, kg; M_0 为扰动力矩的幅值, (kg·cm); M_{T0} 为通过隔振器传给基座的力矩, (kg·cm); T_A 为绝对传递系数。

(2) 幅值倍数(又称衰减率)用于消极隔振系统中,它代表当采取隔振措施后,物体振幅较之基座变位扰动的幅值降低的倍数,用绝对传递系数 T_A 的倒数表示:

$$R = \frac{U_0}{X_0} = \frac{1}{T_A}$$

式中: U_0 为基座变位的幅值, cm; X_0 为通过隔振器传给设备的幅值, cm。

(3) 隔声系统(衰减量),它代表采用隔振措施后振动级降低的程度,用以评定结构噪声的减弱情况,用分贝表示:

$$N = 20 \lg \frac{F_0}{F_{T0}} = 20 \lg \frac{U_0}{X_0} = 20 \lg \frac{1}{T_A}$$

$$= 1011 g \frac{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2 \frac{C}{C_c} \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{1 + \left(2 \frac{C}{C_c} \frac{W}{W_n}\right)^2} \text{ (dB)}$$

式中: ω 为扰动力的角频率, (rad·s⁻¹); ω_n 为系统的固有频率, (rad·s⁻¹); $\frac{C}{C_n}$ 为阻尼比; W 为物体总重量, N。

2.3 船用柴油发电机组的常用隔振形式

船用柴油发电机组一般采用整体积极隔振的形式,这种隔振形式也有两类:一是柴油机、发电机刚性(通过橡胶隔振块)安装在一刚性很强的公共底座上,使整套机组形成一个刚体,然后再将此刚体安装在弹性支承上进行隔振,如图 1。二是柴油机、发电机各自通过弹性支承(隔振器)安装在刚性的公共底座上形成整体,再与船体刚性联接,如图 2。

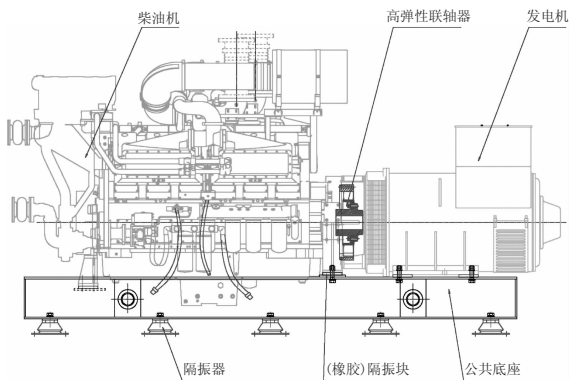


图 1 机组外形安装(隔振器下置)图

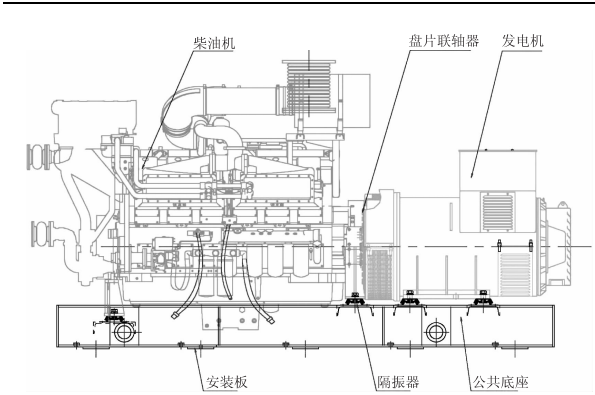


图 2 机组外形安装(隔振器上置)图

柴油机与发电机之间通过盘片联轴节或者高弹性联轴器安装在一起。这种整体隔振装置主要有以下优点：

(1) 加设公共底座，整个机组连成一个整体，刚性、质量大为增加，不但可以提高隔振效率，而且减少了机组本身的振动；

(2) 由于整个机组刚性地连接在一起，没有相对移动，因此弹性支承的载荷是均匀的；

(3) 公共底座的刚性很大，能避免机座变形对机组运转的影响。

2.4 隔振器的选型及布置要求

2.4.1 选用隔振器的原则

根据评价隔振效果的衰减指标，选用隔振器的原则有如下二点。

(1) 适当地选定频率比 $\frac{f}{f_n}$ 值，以得到最佳隔振效果。弹性支承的固有频率的选择必须满足 $\frac{f}{f_n} \geq \sqrt{2}$ 的条件。频率比不断增加，则 T_A 越小，隔振效果也越好；但是频率比也不宜过大，因过大，隔振器须很柔软，静挠度大，体积大，装置的稳定性差，容易摇晃。故一般选用 $\frac{f}{f_n}$ 值在 2.5 ~ 4.5 之间，隔振效率约为 80% ~ 95%。

(2) 载荷必须在隔振器的额定负载范围内，一般允差为 5% ~ 10%；在必须用低频的场合，可组合使用，也能达到目的。

2.4.2 船用柴油发电机组隔振器的选用方法

在隔振系统中，控制振动的三个基本要素是隔振器的刚度、被隔离物体的质量和隔振器的阻尼。隔振器的刚度越小，隔振效果越好；被隔离物体的质量越大，惯性矩越大，振动越小，通过增大隔振底座的面积来增大物体的惯性矩，可以减少物体的摇晃；在共振区减小共振峰，控制共振振幅，可以减弱高频区物体的振动。

自然频率 8 ~ 10 Hz 及以上的隔振，通常选用的隔振器有橡胶和金属弹簧隔振装置，具体选择哪种类型需综合考虑其隔振性能、适用性能及价格因素等。金属弹簧隔振装置具有耐高温、耐机油及柴油能力强的特点，但价格较贵，一般船用柴油发电机组多选用橡胶隔振器。

橡胶隔振器的优点有：①可以自由确定形状，通过调整橡胶配方组分来控制硬度，可满足对各个方向刚度和强度的要求；②内部摩擦大，减振效果好，有利于越过共振区，衰减高频振动和噪声；③弹性模量比金属小得多，可产生较大弹性形变；④没有滑动部分，易于保养；⑤质量小，安装和拆卸方便；⑥冲击刚度高于静刚度和动刚度，有利于冲击变形。

按照船用柴油发电机组一般采用的隔振形式选择合适的隔振器，需要考虑如下因素：载荷能力、结构尺寸、隔振效率、振幅限值、耐蚀性、安装环境等。当隔振器置于柴油机、发电机与公共底座之间时，可选用 CB/CC/TAT 系列、JG 型、JSD 型隔振器；当隔振器置于公共底座下面时，可选用板式橡胶隔振器，如 SH 型、E/EA 型、BE 型，或者 T 系列、Z 系列隔振器。

2.4.3 隔振器安装布置要求

隔振器的安装布置要求：①同一机组中隔振系统应尽可能采用相同型号的隔振器；②各个隔振器受力要均匀，静压缩量基本一致；③尽可能提高支承面面积；④在计算载荷分布时注意利用机组的对称性，使隔振器均匀分布并对称于机组的重心；⑤重心位置的精确度不够时，需要考虑机组静止与运转时对振动的影响；⑥不能安装在使隔振器橡胶和金属件粘结面受拉伸的方向上。

2.4.4 隔振器选型安装案例

以公司某船 1 360 kW 船用柴油发电机组为例，柴油机为 CAT3512C，闭式海水冷却，重 7 410 kg，质心(轴向)位置距离安装端面 930 mm；发电机为 Stamford PM734E2，重 3 600 kg，质心(轴向)位置距离安装端面 1 186.8 mm，滑油 580 kg，冷却水 190 kg，高弹性联轴器 150 kg，公共底座 1 100 kg，以安装端面为基准面，假设高弹性联轴器、公共底座按照机组质心均匀分布，如图 3。

计算机组湿重质心：
 $(7\,410 + 580 + 190) \times 930 - 3\,600 \times 1\,186.8 = (7\,410 + 580 + 190 + 3\,600) \times G$
 $G = 283\text{ mm}$
机组总重约为 12 800 kg，考虑机组整体隔振

性能,采用隔振器下置方案,根据客户要求和伏尔康公司方案,选用 8 个 T60HA 可调节隔振器。发电机、柴油机与公共底座之间采用 WJ-90 橡胶隔振块隔振,保证柴油机、发电机处的橡胶隔振块变形量一致。

WJ-90 橡胶隔振垫,承载能力 $8 \sim 10 \text{ (kg} \cdot \text{cm}^{-2})$,垂直单位额定负载下 $9 \text{ (kg} \cdot \text{cm}^{-2})$ 时的变形量为 $3.5 \pm 0.5 \text{ mm}$,计算隔振垫面积:

$$\text{柴油机支架 } A_1 = \frac{\text{柴油机端重量}}{\text{隔振垫承载能力}}$$

$$= \frac{7\,410 + 580 + 190 + 150/2}{9} = 917.22 \text{ cm}^2$$

$$\text{单个面积} = \frac{A_1}{4} = \frac{917.22}{4} = 229.3 \text{ cm}^2$$

$$\text{发电机脚 } A_2 = \frac{\text{发电机端重量}}{\text{隔振垫承载能力}}$$

$$= \frac{3\,600 + 150/2}{9} = 408.33 \text{ cm}^2$$

$$\text{单个面积} = \frac{A_2}{4} = \frac{408.33}{4} = 102.1 \text{ cm}^2$$

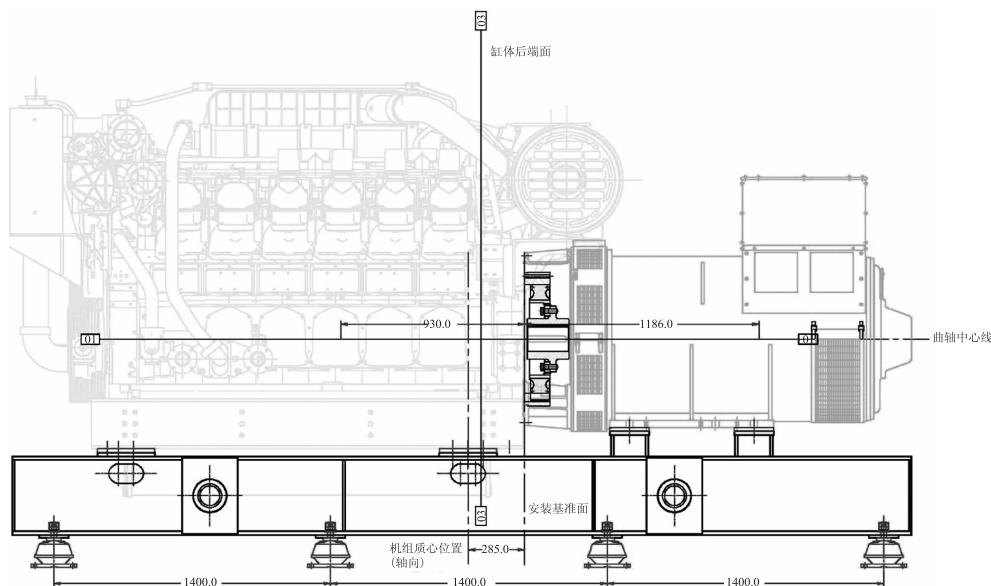


图 3 某船 1 360 kW 柴油发电机组外形安装图

3 结 论

(1) 柴油发电机组悬置支承的弹性作用是使振动传递率曲线上扬的主要原因,导致高频隔振效果变差。

(2) 选择合适的隔振器并合理布置安装,能有效地改善机组的稳定性能,延展机组使用寿命。

参考文献

[1] 严济宽. 机械振动隔离技术 [M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1985.
[2] 中国船舶工业总公司. 船舶设计实用手册 [M]. 北京:

国防工业出版社,2002.

[3] 陆威嵩. 船舶内燃机弹性支承的应用与进展 [J]. 柴油机,2011,33(1):38-43.
[4] 史文库等. 考虑弹性基础的发动机悬置隔振特性分析 [J]. 内燃机学报,1998,16(2):232-237.
[5] 霍睿,施引. 船舶动力机械隔振设计中的功率流方法与效果评估 [J]. 中国造船,2000,41(4):46-51.
[6] 胡剑凌,沈密群. 某柴油发电机组隔振装置振动响应分析 [J]. 噪声与振动控制,1996(2):2-5.
[7] 张洪田,刘志刚,王芝秋,等. 柴油机主动隔振装置及其隔振性能分析 [J]. (2):8-13.
[8] 中国船级社. 钢质海船入级规范(2009) [M]. 北京:人民交通出版社,2009.