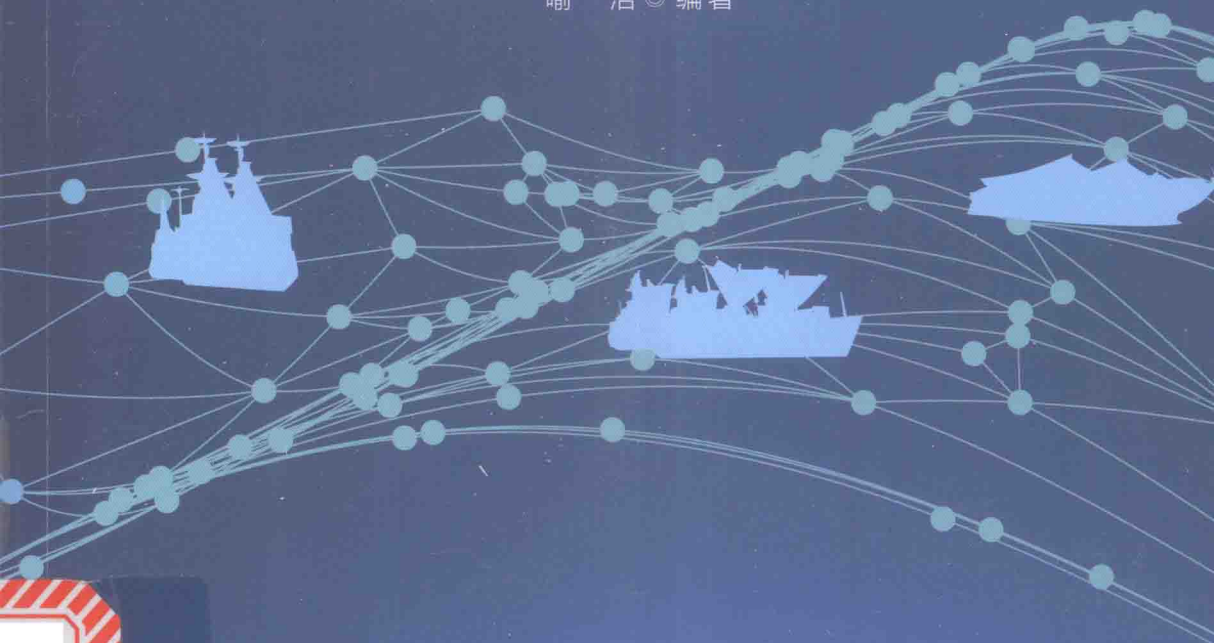


船舶振动噪声测量 与分析技术

Vibration Noise Measurement and Analysis
Technology of Ship

喻 浩◎编著



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

船舶振动噪声测量 与分析技术

喻 浩 编著



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶振动噪声测量与分析技术/喻浩编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2016. 8

ISBN 978 - 7 - 5184 - 1004 - 0

I. ①船… II. ①喻… III. ①船舶振动—船舶噪声—噪声测量
IV. ①U661.44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 142918 号

责任编辑: 李亦兵 贾 磊 责任终审: 劳国强 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 宋振全 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720 × 1000 1/16 印张: 6.25

字 数: 120 千字

书 号: ISBN 978 - 7 - 5184 - 1004 - 0 定价: 80.00 元

邮购电话: 010 - 65241695 传真: 65128352

发行电话: 010 - 85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

160425K6X101HBW

前 言

船舶振动和噪声是反映船舶设计建造水平的重要技术标志之一。随着船舶技术的发展，人们对船舶振动噪声水平越来越关注，相关组织也陆续制订了船舶振动噪声控制标准。为适应这一需要，近年来，船舶振动噪声测量技术得到了快速发展，通过多年的研究与应用实践，已形成了一整套较为完整的船舶振动噪声测量技术和方法。

《船舶振动噪声测量与分析技术》结合作者多年来在该领域的工作实践，针对船舶设计、建造及使用的全生命周期，系统介绍了船舶振动噪声测量方面的相关内容。全书侧重于工程应用，具有较强的操作性，可供从事船舶振动噪声测试行业的相关人员参考。

由于作者水平有限，书中一定存在不足之处，恳请读者谅解和指正。

目 录

第一章 概述	1
第二章 机械设备振动噪声测量	4
一、机械设备振动加速度测量	4
二、机械设备振动烈度测量	8
三、机械设备空气噪声测量	11
第三章 机械设备隔振装置振动测量	18
一、单层隔振装置振动测量	18
二、双层隔振装置振动测量	22
第四章 舱室空气噪声测量	33
一、测量参数及测量频率范围	33
二、测量系统	33
三、测量环境条件	34
四、测点布置	34
五、测量方法	34
六、数据处理	35
七、测量报告	35

第五章 辐射噪声测量	37
一、辐射噪声测量要求	37
二、辐射噪声测量方法	37
三、辐射噪声测量的步骤	38
四、数据分析与计算	39
第六章 船舶噪声源定位分析技术	40
一、概况	40
二、噪声特征信息提取	44
三、标准样本库的构建	50
四、噪声异常判断及定位算法	60
五、船舶噪声源定位分析实例	70
第七章 船舶声学测量试验与评估分析	81
一、基本体系框架	81
二、测量要素分析	84
三、试验要素分析	87
四、评估要素分析	90
参考文献	93

第一章 概 述

船舶振动噪声测量是船舶设计、建造、使用过程中了解船舶振动与声学特性的重要手段，同时也是进行船舶振动噪声控制的基础和必要途径。

设备振动加速度、振动烈度、设备噪声、隔振装置隔振效果、舱室噪声、辐射噪声等是反映船舶声学特性的重要参量。对这些声学参量的测量与分析基本涵盖了能够反映船舶各类振动噪声特性及传递特性的各个方面。

基于这些测量内容，通过多年研究与实践，已形成了一整套技术完整的船舶振动噪声测量技术及方法，这些技术及方法保证了真实可信的数据的获得，满足了船舶振动噪声评估的需要。

船舶振动噪声测量涵盖了船舶设计、建造及使用的全生命周期，包括工厂建造阶段试验、移交验收试验及使用维护试验；对各阶段试验均提供了标准化试验方法，均有详尽规定，操作运行有章可循，有效指导了试验工作的完成。

本书系统介绍了设备振动加速度、振动烈度、设备空气噪声、隔振装置隔振效果、舱室噪声、船舶辐射噪声的测量以及基于测量数据的噪声分析技术。

全书共分七章。

第一章概述。

第二章主要就机械设备振动噪声测量展开讨论，包括机械设备振

动加速度测量、机械设备振动烈度测量、机械设备空气噪声测量，详细介绍了设备安装要求、测点布置、测量系统、测量步骤、数据处理等相关方面的内容。

第三章论述机械设备隔振装置振动测量。内容包括单层隔振装置振动测量、双层隔振装置振动测量，详细介绍了单层隔振装置与双层隔振装置的概念以及设计建模分析方法，在此基础上，围绕隔振效果测量问题，对隔振装置的设备安装要求、测点布置、测量系统、测量步骤、数据处理等相关方面的内容进行了详细介绍。

第四章围绕舱室空气噪声测量开展论述，重点描述了舱室空气噪声测量中相关测点布置、测量系统、测量步骤、数据处理等相关方面的内容。

第五章概要介绍了辐射噪声测量，包括对辐射噪声测量的要求、辐射噪声测量的方法、辐射噪声测量的步骤以及数据处理。

第六章论述了船舶噪声源定位分析技术。船舶振动噪声测量的目的之一就是要对船舶振动噪声进行有效控制。显然，对船舶振动噪声进行有效控制之前必须弄清楚振动噪声源。船舶噪声源定位分析技术的本质是模式识别问题，即利用特定的信息提出方法获得测量噪声信息的特征，构建用于模式识别的样本库，运用特定的算法进行噪声判断及定位。因此噪声源定位分析技术应解决噪声信息特征提取方法、构建样本库、噪声判断定位技术等关键技术环节。本章围绕噪声特征信息提取、标准样本库的构建、噪声异常判断及定位算法等开展论述，并给出了船舶噪声源定位分析实例。

第七章简要介绍了船舶声学测量试验与评估分析。船舶声学测量试验与评估分析是研究船舶噪声的重要手段，是船舶噪声控制的必要途径。在设计建造对噪声指标有较高要求的船舶时，必须考虑其噪声的试验测量及评估问题，这些工作应与船舶的研制同时进

行,使得测量试验与评估的技术和方法能够满足船舶噪声控制的需求。本章首先介绍了声学测量试验与评估分析的基本体系框架,在此基础上分别就测量要素分析、试验要素分析、评估工作内容分析等问题展开论述。

第二章 机械设备振动噪声测量

装船设备出厂前应对其振动特性进行测量。通常测量的参量包括设备机脚的振动加速度、振动烈度、空气噪声等。

一、机械设备振动加速度测量

机械设备振动加速度是反映装船设备振动特性的重要动力学参量，是对设备进行振动噪声控制以及开展振动控制装置设计的重要依据。

（一）设备安装要求

设备应按其在船上的正常安装姿态进行安装。

无论设备或机组在船上是否带减振器安装，出厂台架试验时应采用弹性安装。弹性安装的设备或机组系统垂向固有频率不得超过11Hz或设备、机组最低扰动频率的1/4（两者中取较低的一个）。若不能使用弹性安装，应征得测量单位或合同方认可。船上设备或机组应按正常的安装姿态进行安装。

出厂试验基础的固有频率不应低于25Hz，并且固定基座的固有频率不应在机械或设备的基本旋转频率或其他主要扰动频率的 (1 ± 0.4) 倍范围内。

（二）测点布置要求

单独安装和复合安装有底脚的设备，测点应选择在设备的底脚

上,并尽可能接近固定螺栓。

单独安装和复合安装的设备,测点应布置在所有减振器的上方,即在机组的底脚或底座上。

对于有多个安装面的设备,应按上述规定在每个安装面上布置测点。

对于阀,测点应选择在所有出口法兰上或管口上以及除入口外的任何其他结构接头上。

没有很明确固定点的设备,测量位置应经合同方认可。

测点数目可根据设备类型及大小的不同由合同方商定,但至少取四个。这四个测点一般选择在设备的四角的底脚或底座上。

测量应在三个相互垂直的方向上进行。其中之一应是铅垂的。具有水平轴的设备,另一个方向应垂直于设备的轴。特殊姿态安装的设备,测量取向由合同方商定。对于阀,只要求在两个方向上测量,即垂直于和平行于出口法兰或流体流动的方向,除入口外的其他结构的接头,应在三个相互垂直的方向上测量。

鉴定定型后的设备,其测量位置应经合同双方商定。最低限度应在定型试验期间确定的、总的最高振级的位置及其对角相应位置上(当试验条件相同时)。

传感器应通过安装块固定在测量位置上,安装块六面垂直水平,六面清洁无污物,安装块面钻孔位置应有很强的刚性,用双头螺栓旋转固定传感器。

安装块用黏结剂,如 502 高强度液体胶水固定。黏结剂固化后应具有足够的刚度和强度。

安装表面应进行清洁处理,铲除油漆、油污及其他杂物,用清洗液如酒精(95%以上)或丙酮清洁处理。

传感器也可通过专用磁铁吸附在测点部位。

为了清除地回路干扰,应采取如使用绝缘栓或绝缘块等绝缘措施。

(三) 测量系统要求

测试系统方框图如图 2-1 所示。

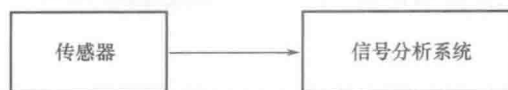


图 2-1 振动加速度测试系统方框图

所用仪器仪表的技术参数应齐全,量程应符合要求。所用仪器仪表均应计量检定合格,并应在有效检定周期内。

测量分析设备应放置在安全平稳的地方,不受任何环境振动影响。所用的测量信号线应固定摆放,禁止摆动影响测量信号。

整个测量系统的频率范围应包括从 9Hz 或被测设备的基本扰动频率(两者取较低的一个)到 11225Hz。

在规定的频率范围内,整个测量系统应具有 $\pm 2\text{dB}$ 的平坦响应。

整个系统的非线性误差应在 $\pm 5\%$ 以内。

(四) 设备运行状态要求

设备应在正常条件下运行,凡设备带有泵和风机等部件,则这些部件均应处于正常工作状态。各种设备运行状态如下。

(1) 有级变速设备应在各级转速下运行。

(2) 无级转速设备应在最高转速、中间转速(最高转速与最低转速之和的 $1/2$)、最低转速(若设备工作转速能操纵到零,则为最高转速的 5%)下运行,并应在其整个运行速度范围内由低到高连续改变转速下运行一次。

(3) 变流量的设备,如节流阀,应在最大流量、 $1/2$ 流量及最小流量(若设备能操纵到零流量,则为最大流量的 5%)下工作,并应在其整个流量范围内由小到大连续变化一次。

设备应在上述(2)、(3)所探测到设备共振或空气噪声急剧增加以及设备制造厂推荐的和合同认可的转速或流量下运行。

凡设备根据某信号作用来运行的,在测量期间应用一代表性信号以激励该设备。

(五) 数据处理

结构振动加速度级(L_a)是测得的结构振动加速度与振动加速度基准值 a_0 之比的常用对数的20倍,按式2-1计算。

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0} \quad (2-1)$$

式中 L_a ——结构振动加速度级, dB

a ——测得的结构振动加速度(rms), $\mu\text{m}/\text{s}^2$

a_0 ——振动加速度基准值(rms), $a_0 = 1 \mu\text{m}/\text{s}^2$

(六) 测量大纲

测试应依据测量大纲进行。测量大纲主要内容如下。

- (1) 测量目的。
- (2) 测量依据。
- (3) 测量内容及工况。
- (4) 测量参数。
- (5) 测量布置及测点图。
- (6) 测量条件。
- (7) 测量报告要求。

(七) 测量步骤要求

传感器、测量分析设备按产品技术说明书要求进行组合。

受测设备根据测量大纲要求内容工况运行,运行稳定后由专人通知测量人员。

测量人员根据现场设备运行工况情况,充分调试测量分析设备,

调整到信噪比最佳位置。

在无异常情况下,操作测量分析设备,记录当前响应信号。

测量完毕后逐步关闭测量分析设备。

(八) 测量报告

测量报告应包括以下主要内容。

- (1) 设备型号、转速、功率及其他额定参数。
- (2) 试验地点、日期、人员、配合单位等。
- (3) 试验测量环境条件,如设备的安装型式、运行状态等。
- (4) 测点布置图。
- (5) 测量系统方框图。
- (6) 数据及图谱表。
- (7) 结果与分析。

二、机械设备振动烈度测量

(一) 振动烈度测量参量

采用整机的当量振动烈度作为机器振动的评定量值,通常用诸如最大值、平均值、均方值或描述振动的其他参数中的一个值或一组值表示。机器的振动烈度是指机器在指定点测得振动速度的最大均方根值表示。由式 2-2 计算:

$$V_s = \sqrt{\left[\frac{\sum V_x}{N_x} \right]^2 + \left[\frac{\sum V_y}{N_y} \right]^2 + \left[\frac{\sum V_z}{N_z} \right]^2} \quad (2-2)$$

式中 V_s ——当量振动烈度, mm/s

V_x, V_y, V_z ——分别为 x 、 y 、 z 三个方向上的振动速度均方根值, mm/s

N_x, N_y, N_z ——分别为 x 、 y 、 z 三个方向上的测点数

测量 10 ~ 1000Hz 频带内速度有效值,取平均值后计算三个方向

的矢量和，计算设备的振动烈度值。

（二）设备安装要求

设备工厂出厂台架试验时，安装设备或机组的基础最好使用钢筋混凝土或铸造金属结构，防止设备或机组与基础相互影响。

环境温度常温，相对湿度 $\leq 75\%$ ，不凝聚。交流电源电压 $220V \pm 10V$ ，三相交流电 $380V \pm 10V$ ，电网频率为 $50Hz \pm 0.5Hz$ 。

设备或机组应按正常的安装姿态进行安装。

无论设备或机组在船上是否带减振器安装，出厂台架试验时应采用弹性安装。弹性安装的设备或机组系统垂向固有频率不得超过 $11Hz$ 或设备、机组最低扰动频率的 $1/4$ （两者中取较低的一个）。若不能使用弹性安装，应征得测量单位或合同方认可。船上设备或机组应按正常的安装姿态进行安装。

出厂试验基础的固有频率不应低于 $25Hz$ ，并且固定基座的固有频率不应处于机械或设备的基本旋转频率或其他主要扰动频率的 (1 ± 0.4) 倍范围内。

（三）测点布置要求

测点应选择在能代表设备或机组整体运动的刚性较强的机器表面、顶部、轴承盖和机座上。不得选择在刚性极差，局部振动过大的部位。

每台机器一般选择 $4 \sim 8$ 个测点。

在同一测点分别按互相垂直的三个方向进行振动测量。与设备或机组安装表面垂直的方向称“垂向”，用 x 标记；沿设备或机组轴线方向称“轴向”，用 y 标记；垂直于 x 、 y 平面的方向称“横向”，用 z 标记。

传感器应通过安装块固定在测量位置上，安装块六面垂直水平，六面清洁无污物，安装块面钻孔位置应有很强的刚性，用双头螺栓旋

转固定传感器。

安装块用黏结剂，如 502 高强度液体胶水固定。黏结剂固化后应具有足够的刚度和强度。

设备或机组上固定安装块的表面应进行清洁处理，铲除油漆、油污及其他杂物，用清洗液如酒精（95% 以上）或丙酮清洁处理。

传感器也可通过专用磁铁吸附在测点部位。

为了清除地回路干扰，应采取如使用绝缘栓或绝缘块等绝缘措施。

（四）测试系统

测试系统方框图如图 2-2 所示。



图 2-2 振动烈度测试系统方框图

所用仪器仪表的技术参数应齐全，它们的量程应符合要求。所用仪器仪表均应计量检定合格，并应在有效检定周期内。

（五）测量大纲

测试应依据测量大纲进行。测量大纲主要内容如下。

- （1）测量目的。
- （2）测量依据。
- （3）测量内容及工况。
- （4）测量参数。
- （5）测量布置及测点图。
- （6）测量条件。
- （7）测量报告要求。

（六）测量步骤要求

传感器、测量分析设备按产品技术说明书要求进行组合。

受测设备或机组根据测量大纲要求内容工况运行,运行稳定后由专人通知测量人员。测量系统频率范围一般为 $10 \sim 1000\text{Hz}$,如果被测设备或机组振动的基频小于 10Hz ,则频率范围选择在 $2 \sim 1000\text{Hz}$ 。

测量人员根据现场设备或机组运行工况情况,充分调试测量分析设备,调整到信噪比最佳位置。

在无异常情况下,操作测量分析设备,记录当前响应信号。

测量完毕后逐步关闭测量分析设备。

(七) 测量报告

测量报告应包括以下主要内容。

- (1) 设备型号、转速、功率及其他额定参数。
- (2) 试验地点、日期、人员、配合单位等。
- (3) 试验测量环境条件,如设备的安装型式、运行状态等。
- (4) 测点布置图。
- (5) 测量系统方框图。
- (6) 数据及图谱表。
- (7) 结果与分析。

三、机械设备空气噪声测量

机械设备空气噪声是船舶舱室噪声的重要来源,因此控制装船设备的空气噪声对于控制舱室噪声具有重要意义。对装船设备的空气噪声测量是船舶舱室噪声控制工程的基础。

(一) 测量依据

对于标准化生产的通用设备,应优先采用以下国家标准:

GB/T 1859—2000《往复式内燃机 辐射的空气噪声测量 工程法及简易法》