



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105021363 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 04

(21) 申请号 201410182248. 4

(22) 申请日 2014. 04. 30

(71) 申请人 上海冠图防雷科技有限公司

地址 200240 上海市闵行区沪闵路 443 号 2
幢一层

(72) 发明人 张桂臣 车驰东 杨勇 孙增华
臧绪运

(74) 专利代理机构 北京市盛峰律师事务所
11337

代理人 席小东

(51) Int. Cl.

G01M 7/02(2006. 01)

G06F 17/50(2006. 01)

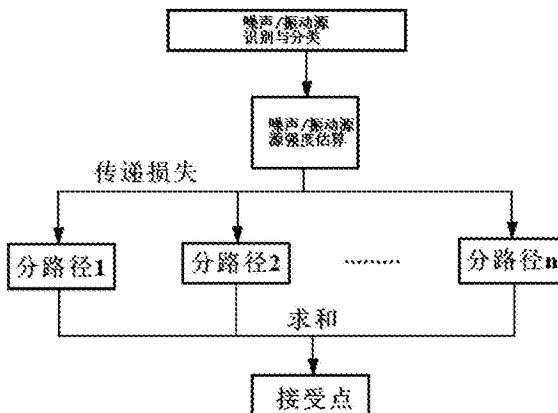
权利要求书3页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统

(57) 摘要

本发明提供一种基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统，包括数据库模块、建模及计算模块以及结果处理模块；数据库模块存储船舶各段舱室中各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据；建模及计算模块包括船舶模型建立子模块、关键激励源识别子模块、传递路径确定子模块、接受点能量计算子模块；用于定义传递路径，计算各激励源产生的振动 / 噪声能量沿传递路径传递到接受点的传递损失，再计算接受点振动 / 噪声总能量。将解析法、数值法和实验法相结合分析船舶结构振源及传递路径特性，舱室空气噪声级计算按噪声源 - 传递路径 - 接受点法的分析过程进行，克服了只有船舶完工后才能根据振动与噪声测量结果采取相应补救措施的难题。



1. 一种基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 包括数据库模块、建模及计算模块以及结果处理模块;

所述数据库模块存储船舶各段舱室中各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据, 还存储各类船舶局部结构的振动噪声传递损失数据;

所述建模及计算模块包括船舶模型建立子模块、关键激励源识别子模块、传递路径确定子模块、接受点能量计算子模块;

其中, 所述船舶模型建立子模块用于根据各段舱室的几何参数及声学参数, 得到船舶模型; 基于所述数据库, 确定各段舱室的振动强度数据和噪声强度数据;

所述关键激励源识别子模块用于: 对于所述船舶模型, 对引起接受点结构振动的振动源进行识别与分类, 确定若干个关键激励源;

所述传递路径确定子模块用于: 定义各个所述关键激励源到所述接受点的传递路径, 计算各个所述关键激励源产生的振动 / 噪声能量沿所述传递路径传递到所述接受点的传递损失;

所述接受点能量计算子模块用于: 设共确定 m 个关键激励源, 通过查找所述数据库, 得到其振动 / 噪声能量数据分别为 X_1, X_2, \dots, X_m ; 各关键激励源沿传递路径的传递损失分别为 Y_1, Y_2, \dots, Y_m ; 则按下式计算接受点的振动 / 噪声总能量;

$$\text{接受点的振动 / 噪声总能量} = (X_1 - Y_1) + (X_2 - Y_2) + \dots + (X_m - Y_m);$$

所述结果处理模块用于显示输出所述建模及计算模块的计算结果。

2. 根据权利要求 1 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 所述数据库模块中存储的各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据包括:

舱室机电设备引起的振动强度数据;

螺旋桨及轴系设备引起的结构振动强度数据;

风机出口或柴油机排气口产生的空气噪声引起的振动强度数据;

流水及风浪对船体造成的振动强度数据。

3. 根据权利要求 1 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 对于所述数据库中所存储的各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据, 通过以下方式获得:

如果存在实测数据, 则选取实测数据作为振动源振动强度数据或噪声源的噪声强度数据; 当不存在实测数据时, 采用理论分析或者使用经验公式获得振动源振动强度数据或噪声源的噪声强度数据。

4. 根据权利要求 1 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 还包括测量仪器:

所述测量仪器用于测量所述船舶模型在自由状态下的模态参数步骤, 其中, 所述测量仪器包括信号发生器(1)、功率放大器(2)、激振器(3)、被测试船舶模型(11)、ICP 力传感器(4)、第一加速度传感器(5)、第二加速度传感器(7)、电荷放大器(6)、恒流源(8)、主机(9)以及显示屏(10);

所述信号发生器(1)的输出端通过所述功率放大器(2)与所述激振器(3)的输入端连接; 所述激振器(3)的输出端固定安装到传力杆的一端, 所述传力杆的另一端固定到所述

ICP 力传感器 (4) 上, 所述 ICP 力传感器 (4) 安装到被测试船舶模型 (11) 的激励位置上; 在所述被测试船舶模型 (11) 的测点分别固定安装所述第一加速度传感器 (5) 和所述第二加速度传感器 (7); 所述第一加速度传感器 (5) 的输出端通过所述电荷放大器 (6) 与所述主机相连; 所述第二加速度传感器 (7) 通过所述恒流源 (8) 与所述主机相连; 所述 ICP 力传感器 (4) 也与所述恒流源 (8) 连接; 所述主机输出端与所述显示屏 (10) 连接。

5. 根据权利要求 4 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 所述第一加速度传感器 (5) 为压电式加速度传感器, 用于将测点振动的加速度信号转化为电荷信号; 所述第二加速度传感器 (7) 为 ICP 传感器, 内置集成电路压电, 用于将测点振动的加速度信号转化为电压信号;

所述恒流源 (8) 既用于向所述第二加速度传感器 (7) 和所述 ICP 力传感器 (4) 供电; 也用于将来自所述第二加速度传感器 (7) 和所述 ICP 力传感器 (4) 的信号传输到所述主机 (9)。

6. 根据权利要求 4 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 所述测量仪器测量所述模态参数, 具体为:

所述信号发生器 (1) 产生原始信号, 经所述功率放大器 (2) 放大后输入到所述激振器 (3), 驱动所述激振器 (3) 产生激励信号, 所述激励信号通过所述传力杆和所述 ICP 力传感器 (4) 的传导作用后, 使激励位置产生振动;

所述第一加速度传感器 (5) 采集测点的响应信号, 经所述电荷放大器 (6) 放大后, 传输到所述主机 (9); 同时, 所述 ICP 力传感器 (4) 采集所述传力杆传导的激励力, 并通过所述恒流源 (8) 传输到所述主机 (9);

所述第二加速度传感器 (7) 采集测点的响应信号, 并通过所述恒流源 (8) 传输到所述主机 (9);

所述主机 (9) 对接收到的各信号进行分析, 得到所述船舶模型的模态参数, 并显示到显示屏 (10) 上。

7. 根据权利要求 1 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 所述接受点能量计算子模块计算各关键激励源沿传递路径的传递损失, 通过以下方式计算:

对于一条传递路径, 确定该条传递路径的传递衰减影响结构, 为各个传递衰减影响结构赋予相应的影响权重, 设共存在 n 个传递衰减影响结构, 分别用 V_1, V_2, \dots, V_n 表示, 其影响权重分别用 M_1, M_2, \dots, M_n 表示; 则该条传递路径的传递损失 = $V_1M_1 + V_2M_2 + \dots + V_nM_n$ 。

8. 根据权利要求 7 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 所述传递衰减影响结构包括: 转角、立柱、减振器及机座、有阻尼层的甲板及舱壁、可引起结构振动反射的不连续结构。

9. 根据权利要求 1 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 还包括自动校正模块;

所述自动校正模块用于: 设接受点能量计算子模块计算得到的振动 / 噪声总能量为计算结果, 设采用实船测试获得接受点的振动 / 噪声总能量称为实测结果, 当所述实测结果与所述计算结果不一致时, 使用所述实测结果修正所述建模及计算模块建立的模型。

10. 根据权利要求 1 所述的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统, 其特征在于, 还包括: 阻波元件匹配计算模块;

所述阻波元件匹配计算模块用于：对于传递路径确定子模块所确定的每条传递路径，通过计算确定每条传递路径中最不利于结构波传递的插入元件所需的最优阻抗；然后采用多层或多个基本阻波单元串联或并联方式得到阻抗元件，该阻抗元件的阻抗等于所述最优阻抗。

基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统

技术领域

[0001] 本发明属于船舶设计建造技术领域,具体涉及一种基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统。

背景技术

[0002] 船舶噪声与振动不仅损害船员的健康,妨碍船员的正常工作,而且易造成船体结构的疲劳、破坏,所以控制船舶噪声与振动十分必要。尤其是随着 IMO 及各船级社对船舶结构振动及舱室噪声的限制标准越加严格,船舶工程及技术人员针对船舶结构振动及结构声传递机理展开了一系列研究,并提出了相应的减振降噪措施,研究范围从简单的典型船舶连接结构到整船结构振动,从单一的平面波到多种相互耦合的非平面波。

[0003] 通过对船舶结构声传递及减振技术方面近二十年的研究文献的回顾和整理,发现其研究方法主要有解析法、数值法和实验法。

[0004] (1) 解析法

[0005] 解析法主要思路是将系统建立成简化的力学模型,建立相应的振动微分方程,并求解得到系统在外激励下的响应。该方法对数学要求较高,通常需要求解复杂边界条件下的微分方程组。为了简化计算,研究人员在传统解析方法上提出了波分析法 (Wave Approach),其主要思想是:首先将整个结构分解成若干连续规则的子结构(通常是平板和直梁)的组合。然后将各子系统振动速度或位移场表示成各类满足该子系统振动微分方程的简谐波叠加。最后利用不连续处(子系统的边界或外激励点)速度或位移的连续性以及应力的平衡而求解得到这些间谐波的幅值及相位的大小以及相互关系。解析法在参数分析方面有一定优势,同时也能对实验及数值算法的优化提供理论依据。但是,随着模型规模的增大,微分方程的数量和复杂程度也会增加。在某些特殊条件下,部分微分方程甚至不存在解析解。

[0006] 因此,解析法多用于针对简化模型的机理性研究,而难以用于复杂实际结构的工程分析,尤其不适用于复杂的船舶结构。

[0007] (2) 数值法

[0008] 数值法是和解析法对应一种研究方法,主要是为了简化分析和计算而提出的“近似”方法。在结构振动分析中,主要用到的是有限元法 (FEM)、迁移矩阵方法和统计能量分析 (SEA)。

[0009] ①有限元法 (FEM)

[0010] 有限元法基本思想是将连续的求解区域离散为一组有限的且按一定方式互相联系在一起的单元的组合体,然后利用在每个单元内假设的近似函数(插值函数)来分片地表示全求解域上的未知场函数。对于静力学问题,其主要思路是首先将整个系统按照其结构特点划分成不同的单元的组合体,比如:三维的体单元(弹性体),二维的面单元(平板),一维的线单元(杆、梁或者轴)及零维的点单元(集中质量或质点)。然后分别对不同的单元选取不同的插值函数,并利用其将单元内任意点的位移表示成单元结点位移的插

值。再根据插值得到的系统位移函数利用最小位能原理求解得全部结点在一定外载荷及边界条件下的位移。最后就可以根据结点位移插值得到系统任意点的位移响应了。对于动力学问题,除了弹性力之外还必须考虑惯性力及粘性力,动力学问题的有限元法的实质就是将求解连续系统的偏微分方程或方程组的问题转化成由有限个结点构成的多自由度系统的常微分方程组的求解的方法。从以上内容来看,单元的划分及各类单元内插值函数的选取就成了有限元法中比较重要的两个方面,而工程实践也证明了单元网格的细化程度及插值函数的阶数直接影响到计算结果的精度。

[0011] 有限元计算方法需要采用大型的通用计算软件进行。一般是先建立起足够精确的力学模型,然后施加各种约束,进行模态分析。可以得到很多阶的振动模态,结果主要取决于模型的精度、荷载的施加是否合理以及对力学本质过程的理解和简化是否合理。

[0012] 近年来,有限元法在工程应用中(尤其是静力学方面)起到了较好的效果,但其在动力学的某些方面也逐步暴露出一些问题。由于结构波的波长是随频率的升高而减小的,因此在高频条件下,必须缩小单元尺度(增加单元数)或提高单元插值函数的阶数以保证计算精度,这势必会导致计算量的大大增加。另一方面,在有限元法进行计算的时候,系统的各项物性参数及边界条件都必须是唯一确定的。但是在动态分析中,这些参数及边界条件往往有一些不确定性,同时高频条件下的计算精度又对参数及边界条件的变化较为敏感。

[0013] 因此,总的来说有限元法比较适合于低频振动问题的分析,而在高频分析中具有一定局限性。

[0014] ②迁移矩阵法

[0015] 迁移矩阵法是比较简略的方法,把船舶作为一条梁分段处理,在不同的横截面上,分别计算其几何尺寸、惯性矩等参数,然后根据船舶最左端的受力边界条件,代入到迁移矩阵处理。由于计算机的普及,一般采用机算的方法,但通常只能得到前面几阶的自振情况,比较粗略。

[0016] ③统计能量分析 (SEA)

[0017] 统计能量分析是早于有限元法发展起来的一种分析结构振动的数值方法。其主要思路是:首先将整个结构划分成若干个子系统。然后对每个子系统的振动能量进行时间、频率及模态的平均以得到该子系统的一个平均能量级,再根据能量守恒原理,利用耗散损失因子(dissipative loss factor)和耦合损失因子(coupling loss factor)建立起一系列和这些平均能量级相关的线性方程。最后通过求解这些方程而得到系统的平均振动能量分布。基于这一思路,SEA 在应用时存在一些与实际情况略有偏差的人为假设,而且由于采取了统计平均,SEA 在工程应用中的高频振动(宽频带激励)分析中有较好的效果。但是在中低频区或者对窄带激励的情况,由于系统模态密度过低的缘故,该方法会导致较大的计算误差。同时,无论一个子系统的几何尺度多大,在 SEA 中所关心的也只是其平均的振动能量级。

[0018] 因此,SEA 方法通常只能在工程上用于计算整个结构振动能量的大致分布,而不能用于求解局部区域的振动能量的详细分布或进行系统参数变化引起的振动速度场变化的分析。

[0019] (3) 实验法

[0020] 随着现代测试技术的发展,结构振动的测量变得越来越简便而且精确。于是技术人员也逐步通过现场测试及测试结果的分析来研究振动传递的规律,这便是实验法。实验法对船舶振动问题的反映最为直观且可信度很高,但是通常情况下单次测量结果不具备普适性,即很难从某个具体测试项目中得到的结果提取出适用该类问题的一般规律。此外考虑到实验法的成本较高,所耗费的人力物力也相对较大,因此常被用以验证解析法或数值法的正确性。

[0021] 国内外船舶振动研究涉及很多方面,例如针对主要振动激励源的船舶尾轴系统固有振动特性研究,船舶螺旋桨轴系运转时引起振动传播的研究,利用有限元法对船舶上层建筑的振动研究,船舶非线性随机横摇运动分析,针对横浪、斜浪进行的基于概率和混沌方法的安全研究,神经网络、遗传算法优化结构设计的减振方法等等。

[0022] 就抑制结构声传递的常用手段而言,主要是敷设阻尼材料和采用弹性连接件,但是对于船舶结构而言小面积阻尼的效果并非理想,而大面积敷设阻尼以吸收振动能量来抑制结构声的办法为建造成本所不允许。同时,构成船体的钢板及钢梁必须焊接地十分牢固以保证所必需的结构强度和水密性,不可能采用弹性连接方式减少振动传递。近些年,部分研究人员考虑到在连续结构中,结构声是以机械波的形式传递,因此便提出了在波的传递路径上附加设置某些障碍,将结构波及其携带的振动能量尽可能地阻挡回去或限制在一定区域内,以防止振动能量向全船扩散,这便是“阻波”的概念。

[0023] 在结构声的经典著作中,最简便且研究最多是阻振质量 (blocking mass),并对其阻波原理作了简单论述,初步探讨了附加在平板上的阻振质量对平面弯曲波传递的抑制作用,并研究了阻振质量的质量及转动惯量等参数变化对传递损失的影响。在此基础上,应用结构有限元方法研究了阻振质量块对板结构振动的影响,并利用边界元法计算了辐射声压。附加在平板上的阻振质量对平面弯曲波入射下结构声传递的研究,通过简化试验验证了理论分析结果,还将研究内容扩展到了平板上平行布置多个阻振质量的情况。阻振质量在杆类结构中分别对纵波和弯曲波传递的抑制作用研究,考虑了阻振质量的重量及回转半径对结构声传递损失的影响。偏心布置的阻振质量对结构声传递影响的研究,计算由此产生的附加隔声量。

[0024] 阻振质量和加强筋可能在理论分析中都被简化为一根直梁,但在实际工程中的作用还是有一定差别的。加强筋通常都是焊接在平板上的型钢,用于增加板的抗弯强度;而阻振质量通常是附加在平板或者转角处的矩形截面或圆截面钢条,其作用是抑制结构声传递,因此其刚度及质量也相对较大。

[0025] 《船舶振动控制指南 GD026-2000》和《IMO resolution A468(XII) code of Noise Level on board Ships》(船舶噪声等级规则)提出船舶结构振动与噪声标准、船舶安全、人居适宜环境的最新要求。船舶航行时遭受风、浪、流、螺旋桨等随机性荷载,影响船舶振动状态与安全。国外船舶设计都特别注意船舶振动与噪声控制,并提出了一系列标准,但目前国内外在随机振动对船舶影响方面还缺少前瞻性的研究,多在船舶完工后根据使用效果采取相应的补救措施,导致后期减振措施实行难,且具有盲目性,耗费巨大人力、财力和物力。

发明内容

[0026] 针对现有技术存在的缺陷,本发明提供一种基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预

报系统,克服了只有船舶完工后才能根据振动与噪声测量结果采取相应补救措施的难题,减少了船舶振动与噪声测量费用,节省了相应的技术改造费用,极大的降低了因船舶振动与噪声不达标而被罚款的技术风险。

[0027] 本发明采用的技术方案如下:

[0028] 本发明提供一种基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统,包括数据库模块、建模及计算模块以及结果处理模块;

[0029] 所述数据库模块存储船舶各段舱室中各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据,还存储各类船舶局部结构的振动噪声传递损失数据;

[0030] 所述建模及计算模块包括船舶模型建立子模块、关键激励源识别子模块、传递路径确定子模块、接受点能量计算子模块;

[0031] 其中,所述船舶模型建立子模块用于根据各段舱室的几何参数及声学参数,得到船舶模型;基于所述数据库,确定各段舱室的振动强度数据和噪声强度数据;

[0032] 所述关键激励源识别子模块用于:对于所述船舶模型,对引起接受点结构振动的振动源进行识别与分类,确定若干个关键激励源;

[0033] 所述传递路径确定子模块用于:定义各个所述关键激励源到所述接受点的传递路径,计算各个所述关键激励源产生的振动 / 噪声能量沿所述传递路径传递到所述接受点的传递损失;

[0034] 所述接受点能量计算子模块用于:设共确定 m 个关键激励源,通过查找所述数据库,得到其振动 / 噪声能量数据分别为 X_1, X_2, \dots, X_m ;各关键激励源沿传递路径的传递损失分别为 Y_1, Y_2, \dots, Y_m ;则按下式计算接受点的振动 / 噪声总能量;

[0035] 接受点的振动 / 噪声总能量 = $(X_1 - Y_1) + (X_2 - Y_2) + \dots + (X_m - Y_m)$;

[0036] 所述结果处理模块用于显示输出所述建模及计算模块的计算结果。

[0037] 优选的,所述数据库模块中存储的各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据包括:

[0038] 舱室机电设备引起的振动强度数据;

[0039] 螺旋桨及轴系设备引起的结构振动强度数据;

[0040] 风机出口或柴油机排气口产生的空气噪声引起的振动强度数据;

[0041] 流水及风浪对船体造成的振动强度数据。

[0042] 优选的,对于所述数据库中所存储的各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据,通过以下方式获得:

[0043] 如果存在实测数据,则选取实测数据作为振动源振动强度数据或噪声源的噪声强度数据;当不存在实测数据时,采用理论分析或者使用经验公式获得振动源振动强度数据或噪声源的噪声强度数据。

[0044] 优选的,还包括测量仪器:所述测量仪器用于测量所述船舶模型在自由状态下的模态参数步骤,其中,所述测量仪器包括信号发生器(1)、功率放大器(2)、激振器(3)、被测试船舶模型(11)、ICP 力传感器(4)、第一加速度传感器(5)、第二加速度传感器(7)、电荷放大器(6)、恒流源(8)、主机(9)以及显示屏(10);

[0045] 所述信号发生器(1)的输出端通过所述功率放大器(2)与所述激振器(3)的输入端连接;所述激振器(3)的输出端固定安装到传力杆的一端,所述传力杆的另一端固定到

所述 ICP 力传感器 (4) 上, 所述 ICP 力传感器 (4) 安装到被测试船舶模型 (11) 的激励位置上; 在所述被测试船舶模型 (11) 的测点分别固定安装所述第一加速度传感器 (5) 和所述第二加速度传感器 (7); 所述第一加速度传感器 (5) 的输出端通过所述电荷放大器 (6) 与所述主机相连; 所述第二加速度传感器 (7) 通过所述恒流源 (8) 与所述主机相连; 所述 ICP 力传感器 (4) 也与所述恒流源 (8) 连接; 所述主机输出端与所述显示屏 (10) 连接。

[0046] 优选的, 所述第一加速度传感器 (5) 为压电式加速度传感器, 用于将测点振动的加速度信号转化为电荷信号; 所述第二加速度传感器 (7) 为 ICP 传感器, 内置集成电路压电, 用于将测点振动的加速度信号转化为电压信号;

[0047] 所述恒流源 (8) 既用于向所述第二加速度传感器 (7) 和所述 ICP 力传感器 (4) 供电; 也用于将来自所述第二加速度传感器 (7) 和所述 ICP 力传感器 (4) 的信号传输到所述主机 (9)。

[0048] 优选的, 所述测量仪器测量所述模态参数, 具体为:

[0049] 所述信号发生器 (1) 产生原始信号, 经所述功率放大器 (2) 放大后输入到所述激振器 (3), 驱动所述激振器 (3) 产生激励信号, 所述激励信号通过所述传力杆和所述 ICP 力传感器 (4) 的传导作用后, 使激励位置产生振动;

[0050] 所述第一加速度传感器 (5) 采集测点的响应信号, 经所述电荷放大器 (6) 放大后, 传输到所述主机 (9); 同时, 所述 ICP 力传感器 (4) 采集所述传力杆传导的激励力, 并通过所述恒流源 (8) 传输到所述主机 (9);

[0051] 所述第二加速度传感器 (7) 采集测点的响应信号, 并通过所述恒流源 (8) 传输到所述主机 (9);

[0052] 所述主机 (9) 对接收到的各信号进行分析, 得到所述船舶模型的模态参数, 并显示到显示屏 (10) 上。

[0053] 优选的, 所述接受点能量计算子模块计算各关键激励源沿传递路径的传递损失, 通过以下方式计算:

[0054] 对于一条传递路径, 确定该条传递路径的传递衰减影响结构, 为各个传递衰减影响结构赋予相应的影响权重, 设共存在 n 个传递衰减影响结构, 分别用 V_1, V_2, \dots, V_n 表示, 其影响权重分别用 M_1, M_2, \dots, M_n 表示; 则该条传递路径的传递损失 = $V_1M_1 + V_2M_2 + \dots + V_nM_n$ 。

[0055] 优选的, 所述传递衰减影响结构包括: 转角、立柱、减振器及机座、有阻尼层的甲板及舱壁、可引起结构振动反射的不连续结构。

[0056] 优选的, 还包括自动校正模块;

[0057] 所述自动校正模块用于: 设接受点能量计算子模块计算得到的振动 / 噪声总能量为计算结果, 设采用实船测试获得接受点的振动 / 噪声总能量称为实测结果, 当所述实测结果与所述计算结果不一致时, 使用所述实测结果修正所述建模及计算模块建立的模型。

[0058] 优选的, 还包括: 阻波元件匹配计算模块;

[0059] 所述阻波元件匹配计算模块用于: 对于传递路径确定子模块所确定的每条传递路径, 通过计算确定每条传递路径中最不利于结构波传递的插入元件所需的最优阻抗; 然后采用多层或多个基本阻波单元串联或并联方式得到阻抗元件, 该阻抗元件的阻抗等于所述最优阻抗。

[0060] 本发明的有益效果如下:

[0061] 本发明提供的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统,将解析法、数值法和实验法相结合分析船舶结构振源及传递路径特性,遵循系统分析法,舱室空气噪声级计算按“噪声源 - 传递路径 - 接受点”(S-P-R) 法的分析过程进行,先化繁为简、再合简为繁,以“阻波”法为主导,提供新型减振降噪手段。减少了船舶振动与噪声测量费用,节省了相应技术改造费用,极大的降低了因船舶振动与噪声不达标而被罚款的技术风险。

附图说明

- [0062] 图 1 为本发明提供的建模及计算模块工作原理整体示意图;
- [0063] 图 2 为图 1 中建模及计算模块工作原理更详细具体的示意图;
- [0064] 图 3 为自动校正模块进行校正的示意图;
- [0065] 图 4 为本发明提供的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统的整体工作原理图;
- [0066] 图 5 为本发明提供的测量仪器的结构示意图。

具体实施方式

- [0067] 以下结合附图对本发明进行详细说明:
- [0068] 本发明提供一种基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统,基本思想为:在船上实测风力荷载、波浪荷载参数,同时检测船舶的结构振动与激励源的振动数据,激励源主要包括螺旋桨、船舶主机、副机、机舱风机。利用本发明专利和实船测试数据优化船舶结构振动与噪声预报分析。根据船舶结构振动与噪声预报结果提取结构振动最不利部位的数据,改进结构型式,实现减振降噪结构优化;同时,利用本发明专利对已建成的存在振动噪声问题的船舶进行分析与减振优化,通过设置阻波手段而采取相应的“补救措施”,实现减振降噪。
- [0069] 具体的,该系统包括数据库模块、建模及计算模块以及结果处理模块;
- [0070] (一) 数据库模块
- [0071] 数据库模块存储船舶各段舱室中各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据,还存储各类船舶局部结构的振动噪声传递损失数据;
- [0072] 数据库模块是整个系统的基础模块,其存储的各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据包括但不限于:舱室机电设备(如:柴油机、电机、泵、压缩机等)引起的振动强度数据;螺旋桨及轴系设备引起的结构振动强度数据,主要是通过轴承传递给船体;高声压级的空气噪声(如风机出口或柴油机排气口等)引起的维护结构振动;流水及风浪对船体造成的振动强度数据,该激励频率较低,主要引起船舶晃动。
- [0073] 振动源的振动强度数据估算就是利用实测数据、经验公式或借助理论分析来确定各类振源的源强度,主要包括:
- [0074] ①引起接受点舱室维护结构振动的各类机电设备的结构振动源强度(振动加速度级) L_a (基准值: 10^{-6}m/s^2);
- [0075] ②室外或舱室噪声在接受点舱室维护结构外表面引起的声压级 L_a (基准值: $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$)。
- [0076] 说明:

[0077] a) 对于振源强度应尽量使用实测数据,只是在无法得到实测数据时方按照理论分析或者经验公式进行。

[0078] b) 对于相距 3 米以内的两个振声源,可将两者源强度级能量相加后作为一个振源处理。以两者中点作为声源中心。

[0079] c) 一台机械设备包含不同类型激励源时,各类声源的贡献需分开独立考虑。

[0080] d) 船舶振动源有很多,为简化计算,若某些设备的振动源强度明显低于其它设备(通常振动加速度级低约 10dB),则这些设备对舱室振动的贡献可忽略不计。

[0081] 数据库中所存储的各类振动源的振动强度数据以及各类噪声源的噪声强度数据,来源主要有三个方面:1) 理论分析及数值计算预报得到的数据;2) 实验和工程中测试直接获得的数据或回归得到的经验公式;3) 软件自身计算获得的结果经修正后得到的数据。一般情况下,如果存在实测数据,则选取实测数据作为振动源振动强度数据或噪声源的噪声强度数据;当不存在实测数据时,采用理论分析或者使用经验公式获得振动源振动强度数据或噪声源的噪声强度数据。

[0082] 数据库模块既可以从软件内部进行维护,也可以由外部数据表格导入,新旧数据之间既可以相互替代,也可以计权平均,由用户自由选择确定。

[0083] (二) 建模及计算模块

[0084] 建模及计算模块属于整个系统的核心模块,严格按照 S-P-R 系统分析的基本流程进行。包括船舶模型建立子模块、关键激励源识别子模块、传递路径确定子模块、接受点能量计算子模块。

[0085] (1) 船舶模型建立子模块

[0086] 船舶模型建立子模块用于根据各段舱室的几何参数及声学参数,包括各段舱室的相对位置及室内声学特性,得到船舶模型;基于所述数据库,确定各段舱室的振动强度数据和噪声强度数据,其中,振动强度数据和噪声强度数据既可以由用户自定义,也可以从数据库模块直接调用;

[0087] (2) 关键激励源识别子模块

[0088] 关键激励源识别子模块用于:对于所述船舶模型,对引起接受点结构振动的振动源进行识别与分类,确定若干个关键激励源;

[0089] (3) 传递路径确定子模块

[0090] 传递路径确定子模块用于:定义各个所述关键激励源到所述接受点的传递路径,计算各个所述关键激励源产生的振动 / 噪声能量沿所述传递路径传递到所述接受点的传递损失;能引起结构声传递衰减的环节包括:①结构的转角及立柱;②减振器及机座;③有阻尼层的甲板及舱壁;④任何可能引起结构振动反射的不连续结构。由关键激励源至接受点的传递路径可能不止一条,因此在结构声传递路径确定的时候,必须将全部可能的路径均考虑在内,只有当某条传递路径上的传递损失明显大于其它路径的时候,该传递路径可以忽略。

[0091] 其中,传递损失数据同样可以由用户自定义,也可以数据库模块直接调用。

[0092] 需要强调的是,本发明采用解析法及数值方法相结合的方法对船舶结构声传递进行建模,本发明建模不同于传统噪声振动分析模块,无需对船舶结构进行详细的描述,因此对于输入条件需求极低。根据 S-P-R 的主体思想,为建立关键激励源至接受点的主要传递

路径,建模者仅需设定如下数据即可:噪声振动源舱室位置、舱室几何参数(如长、宽、高)、舱室内部声学特性参数(如吸声系数、舱壁形式及厚度);噪声源在舱室内的分布及其源强度;噪声源舱室至接受点舱室的主要传递路径,及传递路径上相应的损失数据;接受点舱室的位置、接受点舱室的几何参数和声学特性参数,以及接受点的具体分布。由此即可建立一条完整的S-P-R路径。

[0093] 该路径模型可以研究船舶主要机电设备振动源强度及结构参数对结构声传递的影响,其主要内容包括:各主要机电设备的源强度及对船体激励的模式,船舶结构几何参数、材料属性等对结构声传递的影响;结构连接处的阻抗匹配程度对结构声透射及反射系数的影响;结构声能量沿典型船体结构的衰减规律;利用本发明方法对实际船舶结构中结构声的传递进行计算。

[0094] (4) 接受点能量计算子模块

[0095] 接受点能量计算子模块用于:设共确定m个关键激励源,通过查找所述数据库,得到其振动/噪声能量数据分别为 X_1, X_2, \dots, X_m ;各关键激励源沿传递路径的传递损失分别为 Y_1, Y_2, \dots, Y_m ;则按下式计算接受点的振动/噪声总能量;接受点的振动/噪声总能量= $(X_1-Y_1)+(X_2-Y_2)+\dots+(X_m-Y_m)$ 。

[0096] 如图1所示,为建模及计算模块工作原理整体示意图;即:首先对噪声/振动源进行识别与分类;然后估算噪声/振动源的强度;再确定多条分路径,并计算每一条分路径的传递损失,最终进行求和计算,得到接受点振动/噪声总能量。船舶模型建立子模块、关键激励源识别子模块、传递路径确定子模块、接受点能量计算子模块

[0097] 还包括:将各个接受点的振动/噪声总能量结合该接受点的阻抗,得到该接受点的振动/噪声速度响应值。本步骤,也可以为:生成能量平衡方程,结合舱室房间常数计算接受点的噪声及振动能量。

[0098] 本发明提供的S-P-R(Source-Path-Receiver,源-路径-接受点)的船舶结构振动与噪声预报方法,在船舶详细设计阶段,重点考虑各振源强度及振动能量沿着具有代表性典型结构的传递损失随决定性参数的变化规律,简单有效地估算由船舶设备、风浪流等引起的船舶振动最终传递至接受点的能量级,具有计算简便、预报时间短且受边界条件影响较小的优点。如图2所示,为图1中建模及计算模块工作原理更详细具体的示意图;即:将振动源中的噪声区分为结构声和空气声;其中,产生结构声的振动源称为结构噪声源 L_a ;产生空气声的振动源包括:室内空气噪声源 L_w 和相邻舱室空气噪声源 L_p ;则:结构声在传递路径上的传递损失用 ΔL 表示,相邻舱室空气噪声源在传递路径上的损失称为舱壁传递损失,用 T_L 表示;则在接受点处,按 $TF = L_w - L_a$,将结构声传递的振动能量转换为空气声传递的振动能量,并叠加空气声传递能量,考虑接受空间房间常数 R ,求得接受点振动总能量。

[0099] (三) 结果处理模块

[0100] 结果处理模块用于将计算结果显示及输出,例如:可以根据用户需求,输出各段舱室的各类噪声振动数据,还可以将计算结果输出为其它格式的文件保存到存储器,此外,部分计算结果还可导入数据库模块。

[0101] (四) 自动校正模块

[0102] 本发明还可以包括自动校正模块,通过实船测试获得各类主要机电设备的振动源

强度及各类典型船舶结构中振动能量的衰减规律,利用船舶结构振动与噪声预报模型验证“S-P-R”方法的正确性。如图3所示,为自动校正模块进行校正的示意图,即:使用本发明提供的振动预报软件对船舶结构进行振动预报,得到预报结果;然后,使用船舶结构振动测试系统,对舱段模型进行振动测试,得到实测结果;当预报结果与实测结果存在一定误差时,利用实测结果修正本发明提供的振动预报软件,提高振动预报的精确性,结合实测与预报结果实现船舶振动的仿真与优化。

[0103] 如图4所示,为本发明提供的基于S-P-R的船舶结构振动与噪声预报系统的整体工作原理图,即:首先根据船舶结构数据,建立船舶模型;然后向船舶模型中施加随机荷载,使船舶模型发生振动;其中,所施加的随机荷载大小可以通过船舶实际测量得到的荷载观测数据确定;再测量若干个测点的振动等级;如果振动等级不符合要求,改变船舶模型的结构参数,对其进行优化,至直到船舶模型为合理结构,振动等级达到要求。

[0104] 在实船测试和模型校正完成后,利用本发明专利,在船舶详细设计阶段进行船舶结构参数的振动与噪声工程预报。本发明重点考虑各振源强度及振动能量沿着具有代表性的典型结构的传递损失随决定性参数的变化规律,从而简单有效地估算由机舱设备等引起的振动最终传递至接受点的能量级,计算简便且受边界条件影响较小。

[0105] (五) 测量仪器

[0106] 另外,本发明还提供了一种测量仪器,用于测量船舶模型在自由状态下的模态参数,其中,测量仪器如图5所示,包括信号发生器1、功率放大器2、激振器3、被测试船舶模型11、ICP力传感器4、第一加速度传感器5、第二加速度传感器7、电荷放大器6、恒流源8、主机9以及显示屏10;

[0107] 信号发生器1的输出端通过功率放大器2与激振器3的输入端连接;所述激振器3的输出端固定安装到传力杆的一端,所述传力杆的另一端固定到所述ICP力传感器4上,所述ICP力传感器4安装到被测试船舶模型11的激励位置上;在所述被测试船舶模型11的测点分别固定安装所述第一加速度传感器5和所述第二加速度传感器7;所述第一加速度传感器5的输出端通过所述电荷放大器6与所述主机相连;所述第二加速度传感器7通过所述恒流源8与所述主机相连;所述ICP力传感器4也与所述恒流源8连接;所述主机输出端与所述显示屏10连接。

[0108] 其中,第一加速度传感器5和第二加速度传感器7均为加速度传感器,但属于不同类型:第一加速度传感器5为压电式加速度传感器,其作用是将测点振动的加速度信号转化为电荷信号输出,因主机的输入只有电压和电流信号,因此,需要电荷放大器6将加速度信号转化为电压信号送至主机;第二加速度传感器7为ICP传感器,内置集成电路压电,用于将测点振动的加速度信号转化为电压信号,但由于其内置集成电路,在工作时需要恒流源提供工作电流,因此,在主机和第二加速度传感器7之间插入的恒流源,在向第二加速度传感器7供电的同时也将加速度信号传回给主机,恒流源和第二加速度传感器7之间的信号是双向的,由于左行的是电压信号,右行的是电流信号,两者之间不会相互干扰;ICP力传感器4由于为ICP型的,其同样需要工作电流,可由恒流源同步供给,连接ICP力传感器4与恒流源的导线中的信号也是双向互不干扰的。在测试中,第一加速度传感器5和电荷放大器必须配套使用;第二加速度传感器7和恒流源也必须成套使用,不能混用。

[0109] 该测量仪器的工作原理为:

[0110] 信号发生器1产生原始信号,如所需要的正弦或随机信号;经所述功率放大器2放大后输入到所述激振器3,驱动所述激振器3产生激励信号,所述激励信号通过所述传力杆和所述ICP力传感器4的传导作用后,使激励位置产生振动;本部分为测量仪器的激励环节。

[0111] 在测点布置两个加速度传感器,分别为第一加速度传感器5和第二加速度传感器7;其中,第一加速度传感器5采集测点的响应信号,经所述电荷放大器6放大后,传输到所述主机9;第二加速度传感器7采集测点的响应信号,并通过所述恒流源8传输到所述主机9;同时,ICP力传感器4采集所述传力杆传导的激励力,并通过所述恒流源8传输到所述主机9;本部分为测量仪器的响应记录与显示环节。

[0112] 所述主机9对接收到的各信号进行分析,得到所述船舶模型的模态参数,并显示到显示屏10上。本部分为测量仪器的响应记录与显示环节。

[0113] (六) 阻波措施

[0114] 就噪声传递路径而言,可分为沿空气路径传递的空气声和沿弹性结构传递的结构声两大类。空气声的特点是沿空气途径仅以压缩波的形式进行传递,其抑制手段主要是在其传递途径中提高分隔墙板的隔声量。而在弹性结构中,结构声的传播形式则不仅限于压缩波(纵波),同时还存在弯曲波及剪切波,情况较为复杂。通常所说的结构声可以认为是不同模式的结构振动在弹性结构中的传递。

[0115] 当弹性波在传递过程中遇到任何不连续(此处的不连续并不是指结构本身的断开,而是指传递介质的材料、截面尺寸发生改变,或者遇到转角或阻波元件等)的时候,均会产生透射及反射现象,这种现象被L.Cremer和M.Heckl称为结构波衰减(attenuation of structure-borne sound)。而阻波元件是指:设置在结构波传递路径上,用于制造传递介质的不连续,从而使结构波发生反射,进而阻止结构声无衰减地传递的力学元件,最终降低了目标舱室的振动噪音情况。

[0116] 现有技术中,普遍采用的阻波元件为阻振质量及弹性层,这两者均对高频振动的抑制比较有效,但是前者在抗冲击方面不够理想,后者在保证强度方面也有所欠缺。本发明提出将二者相结合的思路,以阻波元件与结构的阻抗匹配度为主要参量,在阻振质量抑制原理的基础上设计新型高效、经济的阻波元件,用于船舶的减振降噪。具体的,首先通过计算获得最不利于结构波传递的插入元件所需的最优阻抗,然后在实际工程中通过调节阻振质量和弹性层的质量及刚度保证实际元件的阻抗正好等于该计算最优阻抗。当该阻抗无法直接实现的时候,还可以通过用多层或多个基本阻波单元串联或并联实现最佳效果。

[0117] 本发明还研究了单一转角结构中的阻振质量对结构声透射的抑制作用,发现,阻振质量对弯曲波-弯曲波传递的作用相当于一个低通滤波器,“阻带”插入损失的量值取决于阻振质量的质量大小,而“阻带”宽度则取决于其转动惯量,还扩展到了多转角结构的研究。虽然阻振质量对结构声传递的抑制在低频区仍有一定局限性,具体实施可能受到舱室情况及施工条件的限制,导致其未能广泛运用到各类船舶上。本发明研究的阻振质量阻波机理为船舶减振降噪提供一种全新的思路,根据船舶结构的特殊性,在理论分析的基础上,以阻波技术为指导,本发明提出新型、经济、高效的阻波手段,以抑制结构声在船体结构中无衰减地传递,从而减小结构振动对全船的影响。

[0118] 综上所述,本发明提供的基于S-P-R的船舶结构振动与噪声预报系统,具有以下

特点：(1) 采用波分析和有限元相结合的方法对结构振动的传递规律进行研究；(2) 结合理论分析和实测数据回归经验公式，大大简化了分析和计算的过程；(3) 基于“S-P-R”的系统分析方法，利用理论分析和实测所得结果，提出了一套基于经验公式的船舶结构振动预报方法，实现了工程快速预报；(4) 基于数据库系统的振动与噪声快速预报软件，丰富了预报经验公式，提供较多的可选减振方案，操作简便且对操作人员要求低，满足船舶工程应用要求。

[0119] 本发明提供的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统，具有以下优点：

[0120] (1) 对已经建成的存在振动噪声问题的船舶进行分析和仿真，通过设置阻波手段而采取相应的“补救措施”，改善船员适居环境。

[0121] 国内船舶工程振动的建模与计算主要依赖于有限元软件，该方法对技术人员要求较高且操作不便。国内外尚无与本发明类似的基于经验公式和实船测试数据库的“S-P-R”系统分析法的船舶结构振动与噪声快速预报技术和设备，本发明结合有限元法和波分析法的优势，提出一套半数值半解析的船舶结构振动分析方法，针对结构声在船舶结构中的传递规律进行建模分析，研究船体结构参数对结构声传递的影响，并通过实验验证理论模型的正确性，修正理论模型。因此，本发明结合理论公式及实测数据，是一套简便且有效的船舶振动预报方法，便于在船舶详细设计阶段中结构参数的工程预报。

[0122] 本发明进一步揭示了船舶结构振动传递规律，通过实测船舶主要机电设备的振动，分析了其振源强度特性，建立了船舶减振及预报数据库，本发明专利的 S-P-R 方法可减少振动预报时间及设计风险，为改善船舶适居环境提供了快速预报分析和减振方案。另外，本发明利用结构声在船体结构中传递的基本规律，在船舶设计阶段指导声学设计，使船舶工程技术人员可预先对船舶结构振动作出预报，并根据预报结果优化船舶结构以减少结构振动的影响。因此，本发明可优化船舶结构设计，实现船舶减振降噪，改善船舶适居环境，为提高船舶设计水平提供强有力的技术支持。

[0123] (2) 本发明提供的基于 S-P-R 的船舶结构振动与噪声预报系统，成本为 18.3 万元人民币，功率小、免维护、操作简单、预报效果好，具有广阔的市场前景和推广价值。

[0124] (3) 本发明开发了一套基于数据库系统的船舶振动快速预报工程软件，可在船舶建造方案设计阶段准确预报船舶各局部的振动情况，为船舶整体优化设计决策提供分析依据。

[0125] (4) 本发明将解析法、数值法和实验法相结合分析船舶结构振源及传递路径特性，遵循系统分析法，舱室空气噪声级计算按“噪声源 - 传递路径 - 接受点”(S-P-R) 法的分析过程进行，先化繁为简、再合简为繁，以“阻波”法为主导，提供新型减振降噪手段。

[0126] (5) 本发明专利的理论分析阶段采用波分析法和能量法，数值计算阶段采用有限元法，实验阶段采用类比法。可应用于船舶建造和设计工程技术人员的船舶减振技术培训；

[0127] (6) 本发明克服了只有船舶完工后才能根据振动与噪声测量结果采取相应补救措施的难题，减少了船舶振动与噪声测量费用，节省了相应的技术改造费用，极大的降低了因船舶振动与噪声不达标而被罚款的技术风险。

[0128] (7) 本发明针对多种船型、船舶不同区域的噪声限值、舱壁和甲板隔声指数、噪声测量方法等进行实船应用，1 万吨以上船舶的各个舱室噪声测量至少需要 10 万元，重要设

备如柴油发电机组、船舶主机、轴系等的振动测量分析与校正至少需要 20 万元。利用该成果进行船舶振动与噪声检测与评估，节约了硬件投入，节省了计算分析的时间和费用。

[0129] 以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视本发明的保护范围。

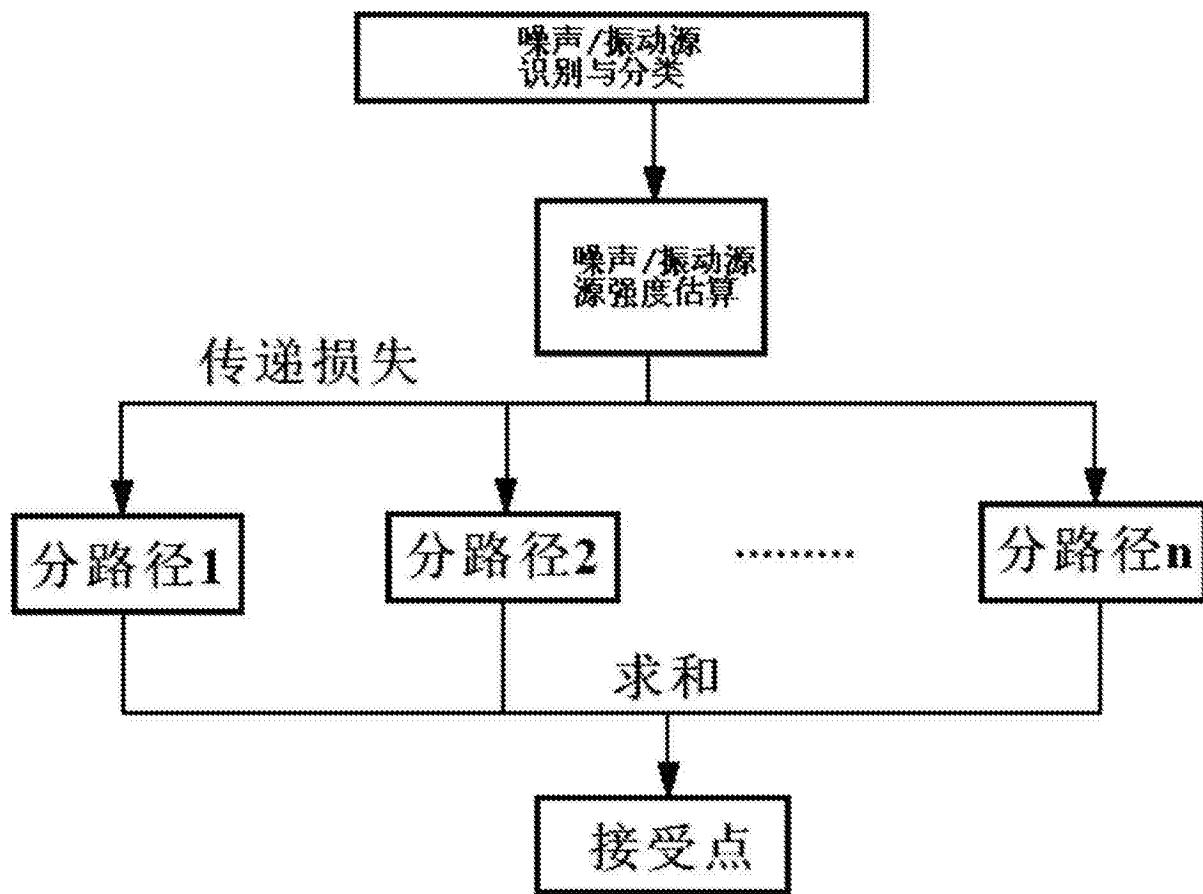


图 1

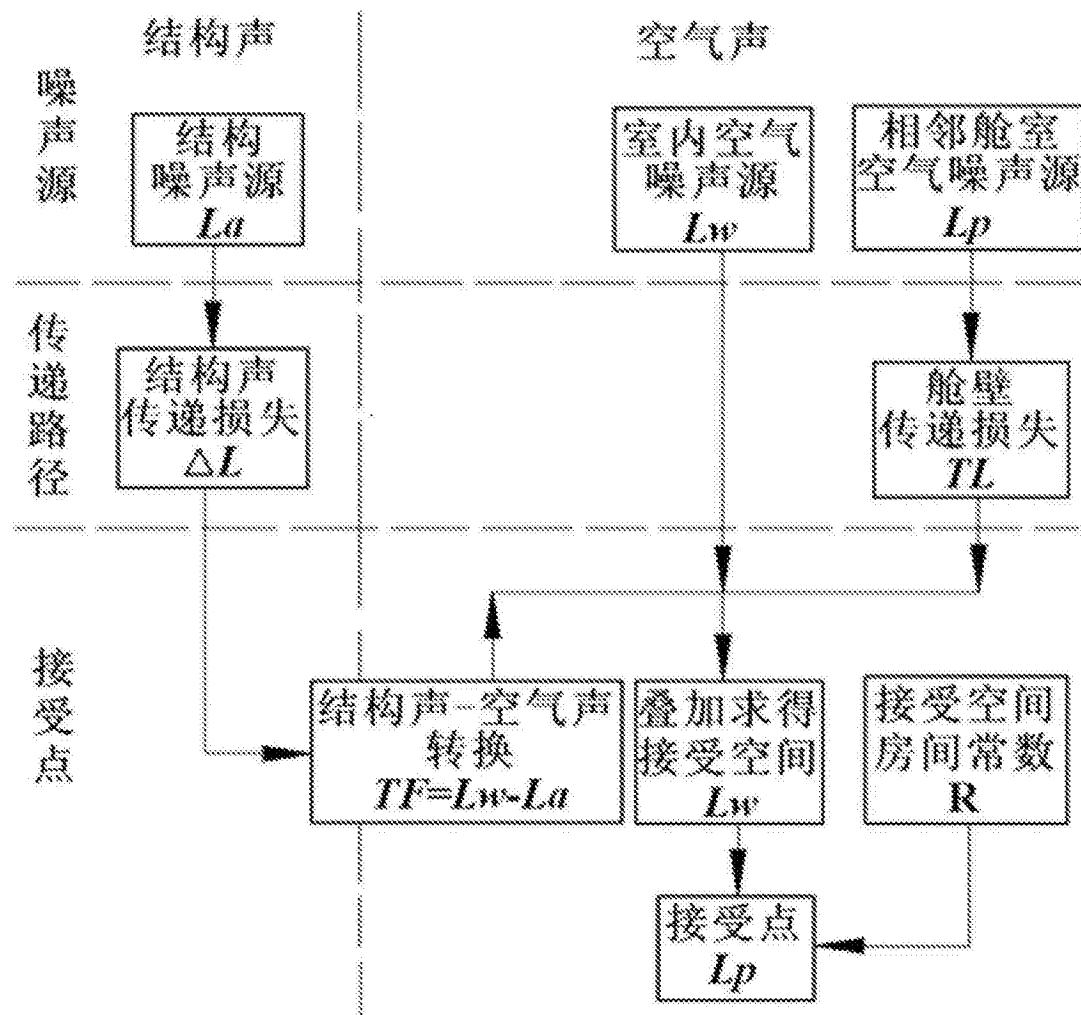


图 2

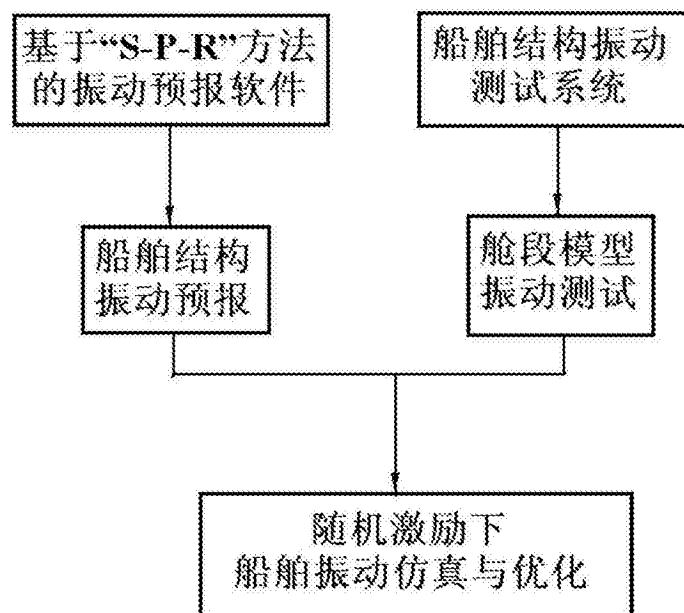


图 3

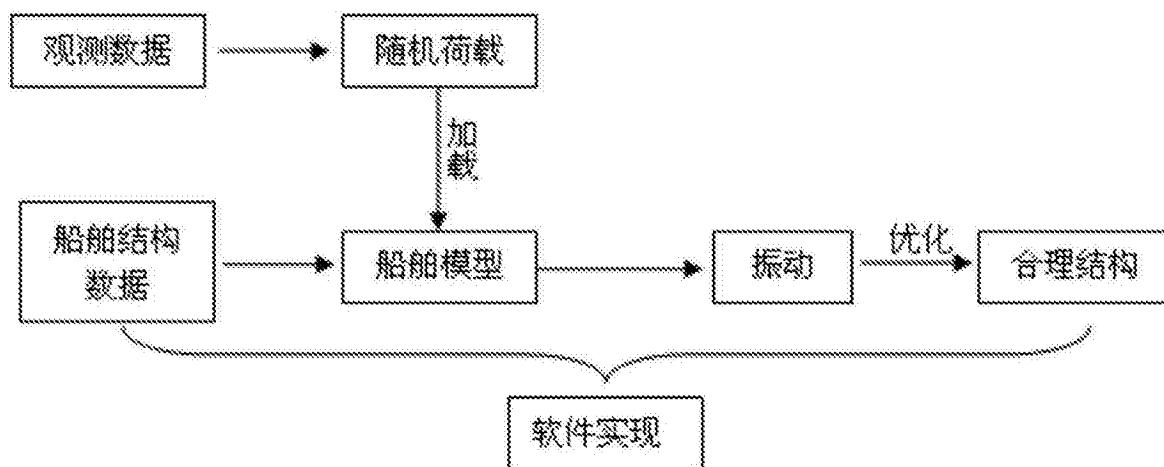


图 4

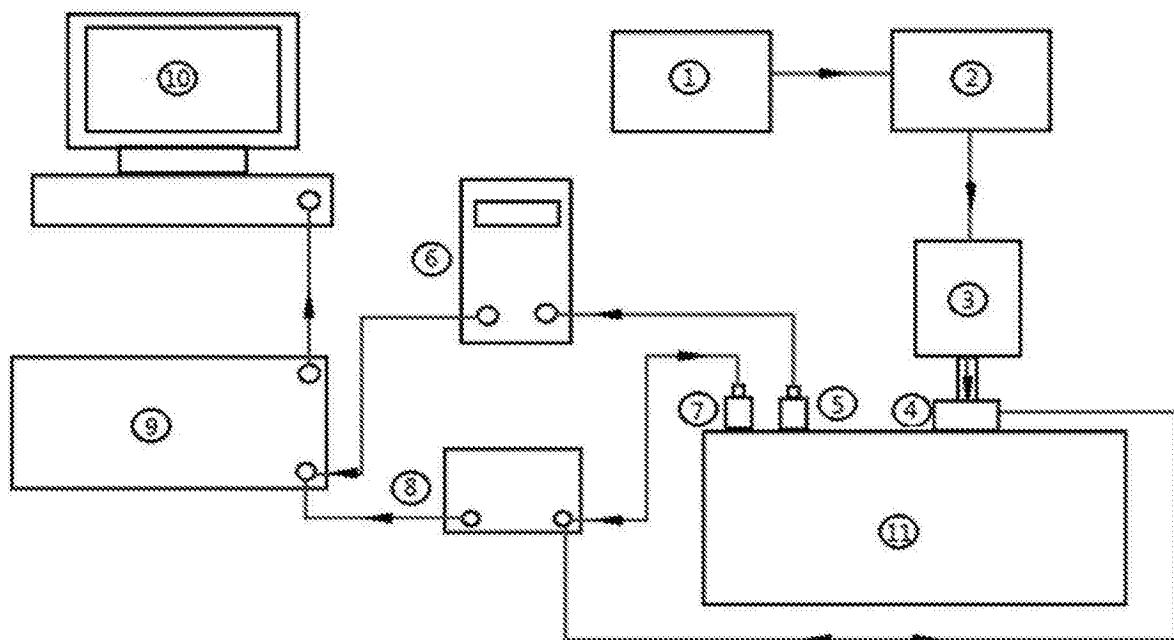


图 5