

## 一种车内低噪声优化设计方法及系统

本申请要求于2020年9月25日提交中国专利局、申请号为202011028783.6、发明名称为“一种车内低噪声优化设计方法及系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5

### 技术领域

本发明涉及声学仿真技术领域，尤其涉及一种车内低噪声优化设计方法及系统。

### 背景技术

10 随着我国轨道交通列车的快速发展，轨道交通列车车辆的噪声问题也日益突出。轨道交通列车噪声问题通常包括车外噪声问题和车内噪声问题。

现有对于轨道交通列车车辆噪声的研究主要分为实验分析方法和数值仿真分析方法两种。在利用实验分析方法控制车内噪声，改善车内的声学环境的过程中，需要经过多次尝试，反复进行测试，才能达到优化车内噪声的目的。

15 但是，该实验分析方法存在周期长、费用大的问题。在利用数值仿真分析方法控制车内噪声的过程中，多在车辆设计阶段由有经验的声学系统工程师根据车内噪声的目标值预估出各部分车体结构所需的隔声量和各设备所发出的声源，进而根据预估值指导车辆低噪声设计，实现优化车内噪声的目的。但是，该数值仿真分析方法很大程度上取决于声学系统工程师的主观经验，存在主观性  
20 强、容易出现偏差的问题。

由此可知，现有的车内噪声的优化设计方法存在周期长、成本高、主观性强，容易出现偏差的问题。

## 发明内容

有鉴于此，本发明实施例提供一种车内低噪声优化设计方法及系统，以解决现有针对车内噪声的优化中存在的周期长、成本高、主观性强，容易出现偏差的问题。

5 为实现上述目的，本发明实施例提供如下技术方案：

本发明第一方面公开了一种车内低噪声优化设计方法，所述方法包括：

获取待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性，基于所述声源分布特性建立车内噪声仿真预测分析模型；

10 将所述待设计车辆的不同区域的隔声量  $TL_i$  和所述声源设备的声功率  $L_{wj}$  作为所述车内噪声仿真预测分析模型输入，在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，以初始隔声量和初始声功率起始，迭代基于所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ ，且所述噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小于预设差值；

其中，所述车内噪声降噪总成本量的约束条件为 
$$\begin{cases} L_{pi} \leq L_{psi} \\ \Delta TL_i \geq 0, \quad L_{pi} \text{ 为车辆噪声目标值} \\ \Delta L_w \geq 0 \end{cases}$$

15 声目标值， $\Delta TL_i$  为所述待设计车辆的不同区域的隔声量增量， $\Delta L_w$  为所述声源设备的声功率减少量， $i$  的取值范围为 1 至  $M$ ， $M$  指所述待设计车辆的不同区域的总个数， $M$  的取值为大于 1 的正整数， $j$  的取值范围为 1 至  $N$ ， $N$  指所述待设计车辆的声源设备的总个数， $N$  的取值为大于 1 的正整数；

20 获取预测所述噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建所述待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数；

基于所述待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数,设计车辆。

优选的,所述在车内噪声降噪总成本量的约束条件的条件下,以初始隔声量和初始声功率起始,迭代基于所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测,包括:

获取车辆初始设计参数,所述车辆初始设计参数包括:车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数;

基于所述车辆的不同区域的设计参数,获取各个区域的初始隔声量;

基于所述声源设备的设计参数,获取所述声源设备的初始声功率;

10 将所述各个区域的初始隔声量和所述声源设备的初始声功率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测,得到初始噪声预测值;

在车内噪声降噪总成本量的约束条件下,根据多元非线性规划理论进行计算,得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ;

15 根据所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 确定各自所指示的声学要求;

基于各个所述声学要求,确定所述不同区域的降噪方案所对应的设计参数和新的隔声量,以及所述声源设备的设计参数和新的声功率;

将所述新的隔声量和所述新的声功率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测,直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值 $L_{psi}$ ,  
20 且所述噪声预测值 $L_{psi}$ 与车辆噪声目标值 $L_{pi}$ 之间的差值小于预设差值。

优选的,所述在车内噪声降噪总成本量的约束条件下,根据多元非线性规

划理论进行计算,得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ,包括:

在车内噪声降噪总成本量的约束条件下,利用车内噪声降噪总成本公式

$$f = \sum_{i=1}^M k_i \Delta TL_i + \sum_{j=1}^N k_j \Delta L_w, \text{ 基于不断调整的不同区域的隔声量增量 } \Delta TL_i \text{ 和所述声}$$

源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ,计算最低的车内噪声降噪总成本量;

其中, $k_i$ 为所述隔声量增量 $\Delta TL_i$ 对应的成本量, $k_j$ 为所述声功率减少量 $\Delta L_w$ 对应的成本量;

确定所述最低车内噪声降噪总成本量下的不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和

所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 。

优选的,所述不同区域的隔声量包括:构成车辆的地板的隔声量、侧墙的隔声量、顶板的隔声量、端墙的隔声量、客室侧门的隔声量、司机室车门的隔声量、车窗的隔声量、挡风玻璃的隔声量和司机室前端的隔声量中的任一个或多个区域的隔声量。

优选的,所述声源设备的声功率包括:轮轨的声功率、空调的声功率、牵引变流器的声功率、辅助变流器的声功率、牵引电机的声功率、空压机的声功率和齿轮箱的声功率中的任一个或多个声源设备的声功率。

本发明第二方面公开了一种车内低噪声优化设计系统,所述系统包括:

建立单元,用于获取待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性,基于所述声源分布特性建立车内噪声仿真预测分析模型;

输出单元,用于将所述待设计车辆的不同区域的隔声量 $TL_i$ 和所述声源设

备的声功率  $L_{wj}$  作为所述车内噪声仿真预测分析模型输入，在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，以初始隔声量和初始声功率起始，迭代基于所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ ，且所述噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小

5 于预设差值，其中，所述车内噪声降噪总成本量的约束条件为 
$$\begin{cases} L_{pi} \leq L_{psi} \\ \Delta TL_i \geq 0, L_{pi} \\ \Delta L_w \geq 0 \end{cases}$$

为车辆噪声目标值， $\Delta TL_i$  为所述待设计车辆的不同区域的隔声量增量， $\Delta L_w$  为所述声源设备的声功率减少量， $i$  的取值范围为 1 至  $M$ ， $M$  指所述待设计车辆的不同区域的总个数， $M$  的取值为大于 1 的正整数， $j$  的取值范围为 1 至  $N$ ， $N$  指所述待设计车辆的声源设备的总个数， $N$  的取值为大于 1 的正整数；

10 获取单元，用于获取预测所述噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建所述待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数；

设计单元，用于基于所述待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数，设计车辆。

优选的，在车内噪声降噪总成本量的约束条件的条件下，以初始隔声量和  
15 初始声功率起始，迭代基于所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测的所述输出单元，包括：

第一获取模块，用于获取车辆初始设计参数，所述车辆初始设计参数包括：车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数；

第二获取模块，用于基于所述车辆的不同区域的设计参数，获取各个区域  
20 的初始隔声量；

第三获取模块,用于基于所述声源设备的设计参数,获取所述声源设备的初始声功率;

预测模块,用于将所述各个区域的初始隔声量和所述声源设备的初始声功率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测,得到初始噪声预测值;

5 计算模块,用于在车内噪声降噪总成本量的约束条件下,根据多元非线性规划理论进行计算,得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ;

10 第一确定模块,用于根据所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 确定各自所指示的声学要求;

第二确定模块,用于基于各个所述声学要求,确定所述不同区域的降噪方案所对应的设计参数和新的隔声量,以及所述声源设备的设计参数和新的声功率;

15 输出模块,用于将所述新的隔声量和所述新的声功率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测,直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值 $L_{psi}$ ,且所述噪声预测值 $L_{psi}$ 与车辆噪声目标值 $L_{pi}$ 之间的差值小于预设差值。

优选的,所述计算模块,包括:

20 计算子模块,用于在车内噪声降噪总成本量的约束条件下,利用车内噪声降噪总成本公式 $f = \sum_{i=1}^M k_i \Delta TL_i + \sum_{j=1}^N k_j \Delta L_w$ ,基于不断调整的不同区域的隔声量增

量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ，计算最低的车内噪声降噪总成本量，其中， $k_i$ 为所述隔声量增量 $\Delta TL_i$ 对应的成本量， $k_j$ 为所述声功率减少量 $\Delta L_w$ 对应的成本量；

- 确定子模块，用于确定所述最低车内噪声降噪总成本量下的不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 。

经由上述技术方案可知，迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，确保在最低的车内噪声降噪总成本下得到无偏差的噪声预测值 $L_{psi}$ ，使车内噪声的优化设计方法周期短、成本低、不出现偏差。此外，基于上述方法，无需通过人员的主观经验进行车辆设计，从而不存在主观性。

## 10 附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

- 15 图1为本发明实施例公开的一种车内低噪声优化设计方法的流程示意图；

图2为本发明实施例公开的迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测的过程的流程示意图；

图3为本发明实施例公开的车辆设计示意图；

图4为本发明实施例公开的一种车内低噪声优化设计系统的结构示意图。

## 20 具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造

性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

在本申请中，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

由背景技术可知，现有对于轨道交通列车车辆噪声的研究主要分为实验分析方法和数值仿真分析方法两种。利用实验分析方法控制车内噪声，但是，该实验分析方法存在周期长、费用大的问题。利用数值仿真分析方法控制车内噪声，但是，该数值仿真分析方法很大程度上取决于声学系统工程师的主观经验，存在主观性强、容易出现偏差的问题。

由此可知，现有的车内噪声的优化设计方法存在周期长、成本高、主观性强，容易出现偏差的问题。

为了解决该问题，本发明公开了一种车内低噪声优化设计方法及系统，迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，确保在最低的车内噪声降噪总成本下得到无偏差的噪声预测值 $L_{psi}$ ，实现车内噪声的优化设计方法达到周期短、成本低、不出现偏差的目的。此外，通过上述方法，无需人员的主观经验进行车辆设计，从而不存在主观性。本发明解决了现有针对车内噪声的优化中存在的周期长、成本高、主观性强，容易出现偏差的问题。具体实现方式通过下述实施例具体进行说明。

如图1所示，为本发明实施例公开的一种车内低噪声优化设计方法的流程

示意图，该车内低噪声优化设计方法主要包括如下步骤：

S101：获取待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性，基于声源分布特性建立车内噪声仿真预测分析模型。

在具体实现 S101 的过程中，依据待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性，基于声源分布特性和统计能量分析理论，建立车内噪声仿真预测分析模型。

其中，待设计车辆的不同区域包括：地板、侧墙、顶板、端墙、客室侧门、司机室车门、车窗、挡风玻璃和司机室前端等等区域。

声源设备包括：轮轨、空调、牵引变流器、辅助变流器、牵引电机、空压机和齿轮箱等等辅助设备。

声源分布特性与待设计车辆的不同区域和声源设备的位置有关，待设计车辆的不同区域所对应的声源分布特性不同，声源设备的位置不同，声源设备对应的声源分布特性不同。

当待设计车辆的不同区域和声源设备的位置确定时，则可确定待设计车辆的不同区域和声源设备对应的声源分布特性。

为了方便理解待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性的过程，这里举例进行说明：

例如，当声源设备空调安装在侧墙区域时，则可得到声源设备空调安装在侧墙区域时所对应的声源分布特性。

S102：将待设计车辆的不同区域的隔声量  $TL_i$  和声源设备的声功率  $L_{w_j}$  作为车内噪声仿真预测分析模型输入，在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，以初始隔声量和初始声功率起始，迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声

预测，直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ ，且噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小于预设差值。

在 S102 中，车内噪声降噪总成本量的约束条件为 
$$\begin{cases} L_{pi} \leq L_{psi} \\ \Delta TL_i \geq 0; \\ \Delta L_w \geq 0 \end{cases}$$

其中， $L_{pi}$  为车辆噪声目标值， $\Delta TL_i$  为待设计车辆的不同区域的隔声量增量， $\Delta L_w$  为声源设备的声功率减少量， $i$  的取值范围为 1 至 M，M 指待设计车辆的不同区域的总个数，M 的取值为大于 1 的正整数， $j$  的取值范围为 1 至 N，N 指待设计车辆的声源设备的总个数，N 的取值为大于 1 的正整数。

需要说明的是，不同区域的隔声量  $TL_i$  包括：构成车辆的地板的隔声量、侧墙的隔声量、顶板的隔声量、端墙的隔声量、客室侧门的隔声量、司机室车门 10 的隔声量、车窗的隔声量、挡风玻璃的隔声量和司机室前端的隔声量中的任一个或多个区域的隔声量。

声源设备的声功率  $L_{wj}$  包括：轮轨的声功率、空调的声功率、牵引变流器的声功率、辅助变流器的声功率、牵引电机的声功率、空压机的声功率和齿轮箱的声功率中的任一个或多个声源设备的声功率。

15 初始隔声量是由车辆最初的不同区域的设计参数确定。

初始声功率是由声源设备最初的设计参数确定。

预设差值可以是 3，也可以是 5 等，具体预设差值的确定根据实际情况进行设置，本发明不做具体限定。

20 S103：获取预测噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数。

在具体实现 S103 的过程中，在最低车内噪声降噪总成本量下，得到的预测噪声预测值  $L_{psi}$ ，获取预测噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数。

在一个实施例中，预测噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建待设计车辆的不同区域的设计参数包括：车辆的地板的厚度和材料，车辆的侧墙的厚度和材料，车辆的顶板的厚度和材料，车辆的端墙的厚度和材料，车辆的客室侧门的厚度和材料，车辆的司机室车门的厚度和材料，车辆的车窗的厚度和材料，车辆的挡风玻璃的厚度和材料，以及车辆的司机室前端的厚度和材料。

预测噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建待设计车辆的声源设备的设计参数包括：车辆的轮轨的声功率、车辆的空调的声功率、车辆的牵引变流器的声功率、车辆的辅助变流器的声功率、车辆的牵引电机的声功率、车辆的空压机的声功率和车辆的齿轮箱的声功率。

S104：基于待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数，设计车辆。

通过待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数，设计车辆，使得在最低车内噪声降噪总成本量下对车内噪声的优化。

具体的，通过待设计车辆的地板的厚度和材料、车辆的侧墙的厚度和材料、车辆的顶板的厚度和材料、车辆的端墙的厚度和材料、车辆的客室侧门的厚度和材料、车辆的司机室车门的厚度和材料、车辆的车窗的厚度和材料、车辆的挡风玻璃的厚度和材料、车辆的司机室前端的厚度和材料等区域的厚度和材料与车辆的轮轨的声功率、车辆的空调的声功率、车辆的牵引变流器的声功率、车辆的辅助变流器的声功率、车辆的牵引电机的声功率、车辆的空压机的声功

率和车辆的齿轮箱的声功率等辅助设备的声功率，设计车辆。

本发明实施例中公开了一种车内低噪声优化设计方法，迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，确保在最低的车内噪声降噪总成本下得到无偏差的噪声预测值 $L_{psi}$ ，使车内噪声的优化设计方法周期短、成本低、不出现  
5 偏差。此外，基于上述方法，无需通过人员的主观经验进行车辆设计，从而不存在主观性。

基于上述本发明实施例图 1 公开的一种车内低噪声优化设计方法，在执行上述 S102 中，涉及到在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，以初始隔声量和初始声功率起始，迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测的过程，如图 2 所示，示出了迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测的  
10 过程的流程示意图，该过程主要包括如下步骤：

S201：获取车辆初始设计参数。

其中，车辆初始设计参数包括：车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数。

15 车辆的不同区域的设计参数包括：车辆的地板的厚度和材料、车辆的侧墙的厚度和材料、车辆的顶板的厚度和材料、车辆的端墙的厚度和材料、车辆的客室侧门的厚度和材料、车辆的司机室车门的厚度和材料、车辆的车窗的厚度和材料、车辆的挡风玻璃的厚度和材料、车辆的司机室前端的厚度和材料。

声源设备的设计参数包括：车辆的轮轨的声功率、车辆的空调的声功率、  
20 车辆的牵引变流器的声功率、车辆的辅助变流器的声功率、车辆的牵引电机的声功率、车辆的空压机的声功率和车辆的齿轮箱的声功率。

S202：基于车辆的不同区域的设计参数，获取各个区域的初始隔声量。

在 S202 中, 初始隔声量是由车辆最初的不同区域的设计参数确定。

为了方便理解上述 S202 执行过程中基于车辆的不同区域的设计参数, 获取各个区域的初始隔声量的过程, 这里举例进行说明:

例如, 基于车辆的侧墙区域的侧墙厚度和材料, 获取车辆的侧墙区域的初始隔声量为 20db。

基于车辆的顶板区域的顶板厚度和材料, 获取车辆的顶板区域的初始隔声量为 35db。

S203: 基于声源设备的设计参数, 获取声源设备的初始声功率。

在 S203 中, 初始声功率是由声源设备最初的设计参数确定。

为了方便理解上述 S203 执行过程中基于声源设备的设计参数, 获取声源设备的初始声功率的过程, 这里举例进行说明:

例如, 基于声源设备轮轨, 获取声源设备轮轨的初始声功率为 110db。

基于声源设备空调, 获取声源设备空调的初始隔声量为 76db。

S204: 将各个区域的初始隔声量和声源设备的初始声功率输入车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 得到初始噪声预测值。

其中, 由于需要输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值, 因此需要将各个区域的初始隔声量和声源设备的初始声功率输入车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 得到初始噪声预测值, 再以初始隔声量和初始声功率起始, 迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ 。

S205: 在车内噪声降噪总成本量的约束条件下, 根据多元非线性规划理论进行计算, 得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及最低的车内噪声降噪总成

本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 。

具体的,得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 的过程如下:

5        在车内噪声降噪总成本量的约束条件下,首先,利用车内噪声降噪总成本公式 $f = \sum_{i=1}^M k_i \Delta TL_i + \sum_{j=1}^N k_j \Delta L_w$ ,其次,基于不断调整的不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ,然后,计算最低的车内噪声降噪总成本量,最后,确定最低车内噪声降噪总成本量下的不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 。

10       其中, $f$ 为车内噪声降噪总成本量, $k_i$ 为隔声量增量 $\Delta TL_i$ 对应的成本量, $k_j$ 为声功率减少量 $\Delta L_w$ 对应的成本量。

最低车内噪声降噪总成本量即为车内噪声降噪总成本量最优情况。

为了方便理解调整隔声量增量 $\Delta TL_i$ 的过程,这里举例进行说明:

例如,地板的隔声量的值为10db,需将地板的隔声量增加到12db,则地  
15    板的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 为12db-10db=2db。

为了方便理解调整声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ,这里举例进行说明:

例如,空调的声功率为110db,若将空调的声功率降低到100db,则空调的声功率减少量 $\Delta L_w$ 为110db-100db=10db。

S206: 根据最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量和声源  
20    设备的声功率减少量确定各自所指示的声学要求。

在S206中,根据最低车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量

$\Delta TL_i$  所指示的不同区域的第一声学要求, 以及最低的车内噪声降噪总成本量下的声源设备的声功率减少量  $\Delta L_w$  所指示的声源设备的第二声学要求。

其中, 第一声学要求用于表征最低车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量。

- 5       第二声学要求用于表征最低的车内噪声降噪总成本量下的声源设备的声功率。

S207: 基于各个声学要求, 确定不同区域的降噪方案所对应的设计参数和新的隔声量, 以及声源设备的涉及参数和新的声功率。

- 10       在 S207 中, 基于第一声学要求对应的不同区域的降噪方案获取构建不同区域的材料参数, 基于材料参数获取不同区域各自对应的新的隔声量; 基于第二声学要求对应的声源设备的降噪方案获取声源设备的调整参数, 基于调整参数获取声源设备对应的新的声功率。

- 15       为了方便理解上述 S207 中基于第一声学要求对应的不同区域的降噪方案获取构建不同区域的材料参数, 基于材料参数获取不同区域各自对应的新的隔声量的过程, 这里举例进行说明:

例如: 若地板的隔声量的值为 42db, 降噪方案为基于 42db 的隔声量选取 3 公分厚度的碳纤棉材质的材料构建于地板上, 基于 3 公分厚度的碳纤棉材质的材料, 得到地板的新的隔声量为 35db。

- 20       为了方便理解上述 S207 中基于第二声学要求对应的声源设备的降噪方案获取声源设备的调整参数, 基于调整参数获取声源设备对应的新的声功率的过程, 这里举例进行说明:

例如: 空调的声功率的值为 76db, 降噪方案为将该空调的声功率的值降

低至 50db, 空调的调整参数为 76db-50db=26db, 基于调整参数 26db 获取空调对应的新的声功率为 50db。

S208: 将新的隔声量和新的声功率输入车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ , 且噪声  
5 预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小于预设差值。

为了方便理解将新的隔声量和新的声功率输入车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$  的过程, 这里举例进行说明:

例如, 将新的隔声量和新的功率输入车内噪声仿真预测分析模型进行噪声  
10 预测, 若输出的噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值不小于预设差值, 则继续进行第二轮获取新的隔声量和新的声功率, 第二轮获取新的隔声量和新的声功率为: 基于第一声学要求对应的不同区域的降噪方案获取构建不同区域的材料参数, 基于材料参数获取不同区域各自对应的新的隔声量, 基于第二声学要求对应的声源设备的降噪方案获取声源设备的调整参数, 基于调整参  
15 数获取声源设备对应的新的声功率, 并将第二轮获取到的新的隔声量和新的声功率输入车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 直至输出的噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小于预设差值, 即输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ 。

本发明实施例中, 依据非线性规划理论, 对车内噪声降噪方案进行基于成本考量的优化设计, 充分发掘降噪方案的降噪潜能, 系统、科学、有效的分配  
20 车辆不同区域的声学要求, 使得设计出的车辆有着更好的降噪效果。

在上述S104中, 具体通过待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的

设计参数,设计车辆的过程,如图3所示,示出了车辆设计示意图。

图3中,待设计车辆的不同区域的设计参数包括:侧墙的厚度和材料、顶板的厚度和材料、客室侧门的厚度和材料、司机室车门的厚度和材料、车窗的厚度和材料、挡风玻璃的厚度和材料和司机室前端的厚度和材料等等区域的厚  
5 度和材料。

待设计车辆的声源设备的设计参数包括:车辆的轮轨的声功率、车辆的空调的声功率、车辆的牵引变流器的声功率、车辆的辅助变流器的声功率、车辆的牵引电机的声功率、车辆的空压机的声功率和车辆的齿轮箱的声功率等等辅助设备的声功率。

10 本发明实施例中,通过基于待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数设计车辆,充分发掘降噪方案的降噪潜能,科学有效的通过待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数设计车辆,无需通过人员的主观经验设计车辆,从而不存在主观性。

基于上述实施例图1公开的一种车内低噪声优化设计方法,本发明实施例  
15 还对应公开了一种车内低噪声优化设计系统,如图4所示,该车内低噪声优化设计系统主要包括:

建立单元 401,用于获取待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性,基于声源分布特性建立车内噪声仿真预测分析模型。

其中,依据待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性,  
20 基于声源分布特性和统计能量分析理论,建立车内噪声仿真预测分析模型。

建立单元 401 中的待设计车辆的不同区域包括:地板、侧墙、顶板、端墙、客室侧门、司机室车门、车窗、挡风玻璃和司机室前端等等区域。

建立单元 401 中的声源设备包括: 轮轨、空调、牵引变流器、辅助变流器、牵引电机、空压机和齿轮箱等等辅助设备。

声源分布特性与待设计车辆的不同区域和声源设备的位置有关, 待设计车辆的不同区域所对应的声源分布特性不同, 声源设备的位置不同, 声源设备对  
5 应的声源分布特性不同。

输出单元 402, 用于将待设计车辆的不同区域的隔声量  $TL_i$  和声源设备的声功率  $L_{wj}$  作为车内噪声仿真预测分析模型输入, 在车内噪声降噪总成本量的约束条件下, 以初始隔声量和初始声功率起始, 迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  
10  $L_{psi}$ , 且噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小于预设差值。

其中, 车内噪声降噪总成本量的约束条件为 
$$\begin{cases} L_{pi} \leq L_{psi} \\ \Delta TL_i \geq 0, \quad L_{pi} \text{ 为车辆噪声目} \\ \Delta L_w \geq 0 \end{cases}$$

标值,  $\Delta TL_i$  为待设计车辆的不同区域的隔声量增量,  $\Delta L_w$  为声源设备的声功率减少量,  $i$  的取值范围为 1 至  $M$ ,  $M$  指待设计车辆的不同区域的总个数,  $M$  的取值为大于 1 的正整数,  $j$  的取值范围为 1 至  $N$ ,  $N$  指待设计车辆的声源设备  
15 的总个数,  $N$  的取值为大于 1 的正整数。

不同区域的隔声量  $TL_i$  包括: 构成车辆的地板的隔声量、侧墙的隔声量、顶板的隔声量、端墙的隔声量、客室侧门的隔声量、司机室车门的隔声量、车窗的隔声量、挡风玻璃的隔声量和司机室前端的隔声量中的任一个或多个区域的隔声量。

20 声源设备的声功率  $L_{wj}$  包括: 轮轨的声功率、空调的声功率、牵引变流器

的声功率、辅助变流器的声功率、牵引电机的声功率、空压机的声功率和齿轮箱的声功率中的任一个或多个声源设备的声功率。

进一步的，输出单元 402，包括第一获取模块、第二获取模块、第三获取模块、预测模块、计算模块、确定模块、第四获取模块、第五获取模块和输出  
5 模块。

第一获取模块，用于获取待设计车辆初始设计参数。

其中，待设计车辆初始设计参数包括：车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数。

第二获取模块，用于基于车辆的不同区域的设计参数，获取各个区域的初  
10 始隔声量。

第三获取模块，用于基于声源设备的设计参数，获取声源设备的初始声功率。

预测模块，用于将各个区域的初始隔声量和声源设备的初始声功率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，得到初始噪声预测值。

15 计算模块，用于在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，根据多元非线性规划理论进行计算，得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 。

进一步的，计算模块，包括：计算子模块和确定子模块。

计算子模块，用于在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，利用车内噪声  
20 降噪总成本公式 $f = \sum_{i=1}^M k_i \Delta TL_i + \sum_{j=1}^N k_j \Delta L_w$ ，基于不断调整的不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ，计算最低的车内噪声降噪总成本量。

其中,  $k_i$  为隔声量增量  $\Delta TL_i$  对应的成本量,  $k_j$  为声功率减少量  $\Delta L_w$  对应的成本量。

确定子模块, 用于确定最低车内噪声降噪总成本量下的不同区域的隔声量增量  $\Delta TL_i$  和声源设备的声功率减少量  $\Delta L_w$ 。

5 第一确定模块, 用于根据所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量  $\Delta TL_i$  和所述声源设备的声功率减少量  $\Delta L_w$  确定各自所指示的声学要求。

第二确定模块, 用于基于各个所述声学要求, 确定所述不同区域的降噪方案所对应的设计参数和新的隔声量, 以及所述声源设备的设计参数和新的声功  
10 率。

输出模块, 用于将新的隔声量和新的声功率输入车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ , 且噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小于预设差值。

获取单元 403, 用于获取预测噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数。  
15

其中, 在最低车内噪声降噪总成本量下, 得到的预测噪声预测值  $L_{psi}$ , 获取预测噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数。

预测噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建待设计车辆的不同区域的设计参数包括: 车辆的地板的厚度和材料、车辆的侧墙的厚度和材料、车辆的顶板的厚度和材料、车辆的端墙的厚度和材料、车辆的客室侧门的厚度和材料、车辆的司机室车门的厚度和材料、车辆的车窗的厚度和材料、车辆的挡风玻璃的厚度和  
20

材料、车辆的司机室前端的厚度和材料。

预测噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建待设计车辆的声源设备的设计参数包括：车辆的轮轨的声功率、车辆的空调的声功率、车辆的牵引变流器的声功率、车辆的辅助变流器的声功率、车辆的牵引电机的声功率、车辆的空压机的声功率和车辆的齿轮箱的声功率。

设计单元404，用于基于待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数，设计车辆。

通过待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数，设计车辆，使得在最低车内噪声降噪总成本量下对车内噪声的优化。

本发明实施例中公开了一种车内低噪声优化设计系统，迭代基于车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，确保在最低的车内噪声降噪总成本下得到无偏差的噪声预测值  $L_{psi}$ ，使车内噪声的优化设计方法周期短、成本低、不出现偏差。此外，基于上述系统，无需通过人员的主观经验进行车辆设计，从而不存在主观性。

对于前述的各方法实施例，为了简单描述，故将其都表述为一系列的动作组合，但是本领域技术人员应该知悉，本发明并不受所描述的动作顺序的限制，因为依据本发明，某些步骤可以采用其他顺序或者同时进行。其次，本领域技术人员也应该知悉，说明书中所描述的实施例均属于优选实施例，所涉及的动作和模块并不一定是本发明所必须的。

需要说明的是，本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可。对于系统类实施例而言，由于其与方法实施例基本相似，所

以描述的比较简单，相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

本发明各实施例方法中的步骤可以根据实际需要进行顺序调整、合并和删减。

最后，还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。

对所公开的实施例的上述说明，使本领域技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

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为本发明的保护范围。

**权 利 要 求**

1、一种车内低噪声优化设计方法，其特征在于，所述方法包括：

获取待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性，基于所述声源分布特性建立车内噪声仿真预测分析模型；

5 将所述待设计车辆的不同区域的隔声量  $TL_i$  和所述声源设备的声功率  $L_{wj}$  作为所述车内噪声仿真预测分析模型输入，在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，以初始隔声量和初始声功率起始，迭代基于所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ ，且所述噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小于预设差值；

10 其中，所述车内噪声降噪总成本量的约束条件为 
$$\begin{cases} L_{pi} \leq L_{psi} \\ \Delta TL_i \geq 0, \quad L_{pi} \text{ 为车辆噪声目标值} \\ \Delta L_w \geq 0 \end{cases}$$

声目标值， $\Delta TL_i$  为所述待设计车辆的不同区域的隔声量增量， $\Delta L_w$  为所述声源设备的声功率减少量， $i$  的取值范围为 1 至  $M$ ， $M$  指所述待设计车辆的不同区域的总个数， $M$  的取值为大于 1 的正整数， $j$  的取值范围为 1 至  $N$ ， $N$  指所述待设计车辆的声源设备的总个数， $N$  的取值为大于 1 的正整数；

15 获取预测所述噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建所述待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数；

基于所述待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数，设计车辆。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述在车内噪声降噪总成本量的约束条件的条件下，以初始隔声量和初始声功率起始，迭代基于所述车

20

内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，包括：

获取车辆初始设计参数，所述车辆初始设计参数包括：车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数；

基于所述车辆的不同区域的设计参数，获取各个区域的初始隔声量；

5 基于所述声源设备的设计参数，获取所述声源设备的初始声功率；

将所述各个区域的初始隔声量和所述声源设备的初始声功率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，得到初始噪声预测值；

在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，根据多元非线性规划理论进行计算，得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ；

根据所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 确定各自所指示的声学要求；

基于各个所述声学要求，确定所述不同区域的降噪方案所对应的设计参数和新的隔声量，以及所述声源设备的设计参数和新的声功率；

15 将所述新的隔声量和所述新的声功率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值 $L_{psi}$ ，且所述噪声预测值 $L_{psi}$ 与车辆噪声目标值 $L_{pi}$ 之间的差值小于预设差值。

3、根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，根据多元非线性规划理论进行计算，得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ ，包括：

在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，利用车内噪声降噪总成本公式

$f = \sum_{i=1}^M k_i \Delta TL_i + \sum_{j=1}^N k_j \Delta L_w$ , 基于不断调整的不同区域的隔声量增量  $\Delta TL_i$  和所述声源设备的声功率减少量  $\Delta L_w$ , 计算最低的车内噪声降噪总成本量;

其中,  $k_i$  为所述隔声量增量  $\Delta TL_i$  对应的成本量,  $k_j$  为所述声功率减少量  $\Delta L_w$  对应的成本量;

5 确定所述最低车内噪声降噪总成本量下的不同区域的隔声量增量  $\Delta TL_i$  和所述声源设备的声功率减少量  $\Delta L_w$ 。

4、根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述不同区域的隔声量包括: 构成车辆的地板的隔声量、侧墙的隔声量、顶板的隔声量、端墙的隔声量、客室侧门的隔声量、司机室车门的隔声量、车窗的隔声量、挡风玻璃的隔声量  
10 和司机室前端的隔声量中的任一个或多个区域的隔声量。

5、根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述声源设备的声功率包括: 轮轨的声功率、空调的声功率、牵引变流器的声功率、辅助变流器的声功率、牵引电机的声功率、空压机的声功率和齿轮箱的声功率中的任一个或多个声源设备的声功率。

15 6、一种车内低噪声优化设计系统, 其特征在于, 所述系统包括:

建立单元, 用于获取待设计车辆的不同区域和声源设备各自对应的声源分布特性, 基于所述声源分布特性建立车内噪声仿真预测分析模型;

输出单元, 用于将所述待设计车辆的不同区域的隔声量  $TL_i$  和所述声源设备的声功率  $L_{wj}$  作为所述车内噪声仿真预测分析模型输入, 在车内噪声降噪总  
20 成本量的约束条件下, 以初始隔声量和初始声功率起始, 迭代基于所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测, 直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量

的噪声预测值  $L_{psi}$ ，且所述噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小

于预设差值，其中，所述车内噪声降噪总成本量的约束条件为 
$$\begin{cases} L_{pi} \leq L_{psi} \\ \Delta TL_i \geq 0, L_{pi} \\ \Delta L_w \geq 0 \end{cases}$$

为车辆噪声目标值， $\Delta TL_i$  为所述待设计车辆的不同区域的隔声量增量， $\Delta L_w$  为

所述声源设备的声功率减少量， $i$  的取值范围为 1 至  $M$ ， $M$  指所述待设计车辆

5 的不同区域的总个数， $M$  的取值为大于 1 的正整数， $j$  的取值范围为 1 至  $N$ ，

$N$  指所述待设计车辆的声源设备的总个数， $N$  的取值为大于 1 的正整数；

获取单元，用于获取预测所述噪声预测值  $L_{psi}$  所使用的构建所述待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数；

设计单元，用于基于所述待设计车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数，设计车辆。

7、根据权利要求 6 所述的系统，其特征在于，在车内噪声降噪总成本量的约束条件的条件下，以初始隔声量和初始声功率起始，迭代基于所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测的所述输出单元，包括：

第一获取模块，用于获取车辆初始设计参数，所述车辆初始设计参数包括：车辆的不同区域的设计参数和声源设备的设计参数；

第二获取模块，用于基于所述车辆的不同区域的设计参数，获取各个区域的初始隔声量；

第三获取模块，用于基于所述声源设备的设计参数，获取所述声源设备的初始声功率；

预测模块，用于将所述各个区域的初始隔声量和所述声源设备的初始声功

率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，得到初始噪声预测值；

计算模块，用于在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，根据多元非线性规划理论进行计算，得到最低的车内噪声降噪总成本量、以及所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量  $\Delta TL_i$  和所述声源设备的声功率减

5 少量  $\Delta L_w$ ；

第一确定模块，用于根据所述最低的车内噪声降噪总成本量下不同区域的隔声量增量  $\Delta TL_i$  和所述声源设备的声功率减少量  $\Delta L_w$  确定各自所指示的声学要求；

第二确定模块，用于基于各个所述声学要求，确定所述不同区域的降噪方  
10 案所对应的设计参数和新的隔声量，以及所述声源设备的设计参数和新的声功率；

输出模块，用于将所述新的隔声量和所述新的声功率输入所述车内噪声仿真预测分析模型进行噪声预测，直至输出满足最低车内噪声降噪总成本量的噪声预测值  $L_{psi}$ ，且所述噪声预测值  $L_{psi}$  与车辆噪声目标值  $L_{pi}$  之间的差值小于预

15 设差值。

8、根据权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述计算模块，包括：

计算子模块，用于在车内噪声降噪总成本量的约束条件下，利用车内噪声降噪总成本公式  $f = \sum_{i=1}^M k_i \Delta TL_i + \sum_{j=1}^N k_j \Delta L_w$ ，基于不断调整的不同区域的隔声量增量  $\Delta TL_i$  和所述声源设备的声功率减少量  $\Delta L_w$ ，计算最低的车内噪声降噪总成本  
20 量，其中， $k_i$  为所述隔声量增量  $\Delta TL_i$  对应的成本量， $k_j$  为所述声功率减少量  $\Delta L_w$  对应的成本量；

确定子模块,用于确定所述最低车内噪声降噪总成本量下的不同区域的隔声量增量 $\Delta TL_i$ 和所述声源设备的声功率减少量 $\Delta L_w$ 。