

车用电动涡旋压缩机振动噪声特性分析与控制

刘浩

南京奥特佳新能源科技有限公司

摘要: 本文先是深入分析了振动噪声的来源, 这里面既包括涡旋压缩机内部结构造成的振动源, 也有电动机驱动系统产生的噪声源。之后开展了关于振动噪声特性方面的实验研究, 详细说明了实验是怎么设计的、测试用了什么方法, 还有振动噪声数据是如何采集和分析处理的。紧接着进行了振动噪声的数值模拟和仿真工作, 这其中包括构建涡旋压缩机振动噪声仿真模型, 然后把仿真得到的结果和实验获取的数据放在一起对比分析。在此前提下, 研究了振动噪声控制技术。最后探讨了控制策略多目标优化方法, 目的就是为降低车用电动涡旋压缩机振动噪声提供一套全面又有效的解决办法。

关键词: 车用电动涡旋压缩机; 振动噪声; 特性分析; 控制技术; 多目标优化

一、振动噪声的来源分析

1.1 涡旋压缩机内部结构引起的振动源

涡旋压缩机的运动情况比较复杂, 主要有涡旋盘的周期性啮合运动、轴承的旋转, 还有气体在压缩腔内的流动。先看涡旋盘的周期性啮合。在这个过程中, 因为齿形存在误差, 而且装配也有间隙等情况, 就会产生周期性的冲击力。这种冲击力可不小, 会进一步引发振动。再来说说轴承。当轴承高速旋转时, 滚动体既有滚动又有滑动, 这就产生了摩擦力和冲击力。这些力可不会“老实待着”, 它们会传递到压缩机壳体上, 从而引起振动。另外, 气体在压缩腔内流动的时候, 由于压力会发生变化, 而且流动也不稳定, 这样就会产生气动噪声, 同时也会带来振动。比如在一些工业用的涡旋压缩机中, 这些振动和噪声的情况就比较明显, 对设备的稳定性和周边环境都可能产生一定影响。

1.2 电动机驱动系统产生的噪声源

电动机驱动系统所产生的噪声源, 主要有电磁噪声、机械噪声和通风噪声这几种。下面分别来看看这几种噪声。先说说电磁噪声。电动机内部磁场会不断交变, 这种交变产生的力会作用在定子和转子上, 使得结构产生振动, 进而辐射出噪声。电磁噪声的大小和电动机的电磁设计、制造工艺等方面有紧密联系。比如说, 如果电磁设计不合理或者制造工艺不过关, 电磁噪声可能就会比较大。再看机械噪声。它主要来自电动机的一些机械运动。像轴承在运转过程中、电刷和换向器之间的摩擦等, 这些机械部件的运动以及它们之间的相互作用, 会引发振动和噪声。例如, 当轴承磨损或者润滑不足时, 机械噪声就可能明显增大。最后是通风噪声。电动机在运转的时候, 风扇等通风部件会旋转, 这会引起空气流动和湍流现象, 从而产生空气动力性噪声。比如一些功

率较大的电动机, 其通风部件转速较快, 通风噪声也就相对明显。

二、振动噪声特性实验研究

2.1 实验设计与测试方法

在研究车用电动涡旋压缩机的振动噪声特性并制定控制策略时, 实验设计和测试方法非常关键。要全面、准确地掌握涡旋压缩机的振动噪声特性, 得用心设计实验方案, 采用科学有效的测试办法。在实验设计上, 比如说要模拟不同的工况条件。像不同的转速、负载等情况都要考虑, 这样才能全面知晓涡旋压缩机在各种实际运行状况下的振动噪声表现。另外, 设置合理的对照组实验也很有必要, 这样能排除其他无关因素对实验结果的干扰, 保证实验数据准确可靠。对于测试方法, 在测试振动特性时, 可以用高精度的振动传感器。把它安装在压缩机的关键部位, 像壳体、轴承这些地方, 从而实时获取振动信号。而测试噪声特性时, 要使用专业的声级计。在距离压缩机一定距离且符合标准测试环境要求的地点进行测量, 准确记录不同工况下的噪声值。除此之外, 还得依靠数据采集系统。它能将振动传感器和声级计采集到的信号进行实时采集和存储, 方便后续做更深入的分析。

2.2 振动噪声数据采集与分析技术

在收集振动噪声数据时, 要保证采集系统稳定且精准。具体来说, 要定时校准振动传感器和声级计, 让测量精度达到实验标准, 防止仪器误差造成数据不准确。此外, 数据采集系统得有高速采集和大量存储数据的能力, 这样才能应对实验里可能出现的高频率、大规模振动噪声信号。同时, 合理设置数据采集的频率和时长也很重要, 这样既能完整记录振动噪声的变化, 又不会因数据太多给后续分析带来困难。在处理数据时, 第一步要对采集到的原始数据做预处理, 像

去除噪声干扰、进行数据滤波等，以此提升数据质量。接着，使用专业的信号分析软件对振动信号做时域和频域分析。时域分析能直观呈现振动信号随时间的变化，比如振幅、周期等参数；频域分析则能把振动信号分解成不同频率成分，确定主要的振动频率和噪声频率分布。对于噪声信号，除了上述分析，还能通过声压级等指标评估噪声强度，分析噪声的频谱特性，找出主要噪声源。另外，还可以用相关性分析等方法，研究振动和噪声之间的联系，为后续控制振动噪声提供理论支撑。

三、振动噪声的数值模拟与仿真

3.1 建立涡旋压缩机振动噪声仿真模型

在构建涡旋压缩机振动噪声仿真模型之际，要全面考量多个方面的因素。比如说，得先明确模型的物理边界条件。这得结合涡旋压缩机的实际工作情形，来确定它在仿真环境里的约束与载荷状况。像压缩机具体是怎么安装固定的，承受着怎样的外部力等，都要考虑进去。另外，要对涡旋压缩机的各个部件开展精准的几何建模。像涡旋盘、电机、轴承这些关键部件，都要确保模型的几何形状和尺寸跟实际产品高度契合。同时，还得合理设定材料属性。要依据各部件实际使用的材料，准确输入其密度、弹性模量、泊松比等参数，这样才能保证模型在力学性能上和真实情况一致。还有，为了能更真实地模拟振动噪声的产生和传播过程，还得考虑流体和固体之间的相互作用。可以采用流固耦合分析方法，把压缩机内部流体的流动特性和固体结构的振动特性有机结合起来。如此，就能构建出一个完整且准确的涡旋压缩机振动噪声仿真模型。

3.2 仿真结果与实验数据的对比分析

构建好涡旋压缩机振动噪声仿真模型之后，会把仿真得出的振动噪声数据和实验采集的数据做详细对比。先看振动幅值。在不同工况下，对比压缩机各个关键部位的振动幅值大小。分析仿真得出的值和实验得到的值之间的偏差情况，判断这个偏差是否处于合理范围，以此来评估模型模拟振动幅值的准确程度。对于噪声声压级，也会对比不同频率段下，仿真和实验所得到的声压级数值。研究两者的一致程度，找出可能存在差异的频率段，并且深入分析出现差异的原因。另外，还会对比振动和噪声的频谱特性。观察仿真和实验得到的频谱分布形态是否相似，主要的频率成分是否一致。通过以上这些对比分析，能够全面评估所建立的仿真模型的有

效性和可靠性。这为后续进一步优化模型以及开展振动噪声控制研究提供了坚实的基础。

四、振动噪声控制技术研究

4.1 振动隔离与减震技术

在研究车用电动涡旋压缩机的振动噪声特性以及控制策略时，振动隔离和减震技术是控制振动噪声的重要部分。从涡旋压缩机的内部构造来说，运动部件的不平衡、气流脉动等情况会引发振动，电动机驱动系统的电磁力波动等也会带来新的振动源。这些振动不仅会对压缩机的性能和使用寿命有影响，还会产生噪声，干扰车内环境。要有效控制这些振动，可先采用振动隔离技术。在压缩机和车体之间安装合适的隔振器，像橡胶隔振器、弹簧隔振器等，利用隔振器的弹性变形来隔离和减弱压缩机振动向车体的传递，减少振动对车体的影响。而且，要合理设计隔振器的参数，比如刚度、阻尼等，保证在不同工况下都能有良好的隔振效果。

对于减震技术，一方面可从优化压缩机内部结构做起。对运动部件进行精准的动平衡设计，减少因不平衡质量产生的振动；优化气流通道的设计，降低气流脉动引发的振动。另一方面，在电动机驱动系统方面，采用先进的控制算法来抑制电磁力波动，从根源上减少振动的产生。另外，还能在压缩机外壳等部位增加减震结构，例如用阻尼材料包裹或设置减震筋等，进一步吸收和消耗振动能量，降低振动噪声。

在实际应用时，实施振动隔离和减震技术要综合考虑多方面因素。比如，隔振器的选型要根据压缩机的具体参数，如质量、振动频率等，确保隔振器能承受压缩机重量并有效隔离相应频率的振动。隔振器的安装位置也很关键，要保证其与压缩机和车体连接稳固，避免因安装不当影响隔振效果。

在优化压缩机内部结构时，动平衡设计需借助高精度检测设备和专业设计软件，对运动部件进行精确的平衡计算和调整，使高速运转时产生的离心力最小。气流通道的优化要通过模拟分析和实验验证相结合，不断改进通道形状和尺寸，降低气流脉动幅度。

对于电动机驱动系统的控制算法，要深入研究电磁力波动产生的机理，开发能实时监测和调整的控制策略，有效抑制电磁力波动。在压缩机外壳增加减震结构时，要选择合适的阻尼材料，其阻尼特性要与压缩机振动特性匹配，减震筋的设计也要合理，既能有效吸收振动能量，又不影响压缩机整体性能。通过综合运用这些振动隔离和减震技术，能够降

低车用电动涡旋压缩机的振动噪声，提升其性能和可靠性，为车内营造安静舒适的环境。

4.2 噪声消声与吸声技术

对于车用电动涡旋压缩机发出的噪声，可以运用多种降噪手段，主要包括消声和吸声技术。先来说消声技术，设计出合理的消声器是解决问题的关键。要依据噪声的频谱特点，挑选恰当的消声器种类。比如有阻性消声器、抗性消声器或者阻抗复合式消声器等。阻性消声器主要借助多孔吸声材料来发挥作用，它对中高频噪声有着不错的降噪效果。抗性消声器则是通过管道截面突然变化或者旁接共振腔这类结构，来对低频噪声进行处理。而阻抗复合式消声器结合了前面两者的长处，能够在较宽频率范围里实现良好的消声成效。

再看吸声技术，可以在压缩机周边或者车厢内部布置吸声材料。像玻璃棉、矿渣棉、泡沫塑料等就很常用。这些材料具备多孔结构，可以把声能转化成热能消耗掉，进而减少噪声的反射和传播。同时要合理规划吸声结构的厚度、密度以及布置形式，以此提高吸声效果。另外还有结构吸声技术，通过对压缩机外壳等结构做特殊设计来增强其吸声性能。例如在压缩机外壳上设置吸声凹槽或者凸起，改变声波传播路径，让声波在结构内部多次反射和吸收，进一步降低噪声程度。

对于车厢内的噪声控制，还能考虑采用主动噪声控制技术。它通过产生和原始噪声相位相反的声波，实现噪声的相消干涉来降低噪声。这种技术对低频噪声控制效果特别明显，能有效改善车内的声学环境质量。

五、控制策略的多目标优化方法

在研究车用电动涡旋压缩机的振动噪声特性并制定控制策略时，多目标优化方法相当关键。车用电动涡旋压缩机在运行过程中，会涉及到多个性能方面的指标。比如说，要降低振动和噪声的水平，要让压缩机的效率得到提高，还要保证整个系统的可靠性等。这些目标之间彼此有关联，可又可能存在矛盾。所以，得运用科学合理的多目标优化方法，以此来提升整体性能。有几种常用的多目标优化方法。像加权求和法，它是把多个目标函数依据一定的权重系数加在一起，转化成单目标函数来求解。通过合理地调整权重系数，就能平衡各个目标的重要程度。还有约束法，它是把部分目标转变成约束条件，在满足这些约束的基础上，对剩下的目标进行优化。另外是目标规划法，它会为每个目标设定一个期望

达到的值，在满足一定约束的情况下，让各个目标尽可能接近这个期望值。

在实际运用的时候，可以根据车用电动涡旋压缩机自身的具体特点以及优化的需求，挑选合适的多目标优化方法。这样做能够实现降低振动噪声、提高效率以及保证可靠性等多个目标的协同优化。比如，对于一些对噪声要求极高的应用场景，可以适当提高降低振动噪声目标的权重；而对于追求高效运行的情况，则可侧重于提高压缩机效率目标的优化。

结语

我们深入分析了车用电动涡旋压缩机的振动噪声特性，详细了解了振动噪声从哪儿来、有什么特点，还掌握了对应的控制技术与优化办法。比如说，发现某些部件的材质和结构设计，会对振动噪声产生影响。这些研究成果很有意义，一方面，为降低车用电动涡旋压缩机的振动噪声提供了理论支撑。另一方面，在实际的工程应用里，也成了控制振动噪声有效的技术手段。随着时间推移，技术会不断进步，研究也会持续深入，我们有希望进一步优化车用电动涡旋压缩机的性能，让它运行得更加高效。

参考文献

- [1] 许晓明; 张文卓; 王珍; 闫伟国. 涡旋压缩机异常噪声分析及控制研究[J]. 噪声与振动控制, 2024(03): 158-164.
- [2] 商国旭; 史文库; 陈志勇; 刘国政; 黎晓燕; 杨家宏. 基于压缩机-支架系统的异常噪声研究[J]. 振动. 测试与诊断, 2020(05): 936-940+1024.
- [3] 张文卓; 曲政; 刘玉环; 杨春立; 王珍. 封闭式涡旋压缩机噪声特性仿真与声源定位研究[J]. 流体机械, 2024(01): 97-104.
- [4] 何雷. 不同工况下涡旋压缩机噪声特性与降噪机理研究[J]. 电声技术, 2024, 48(11): 150-154.
- [5] 白俊昭. 电动涡旋压缩机电磁和气动噪声模拟及降噪研究[D]. 南华大学 2021: 76.