

减振降噪在机械设计中的应用

樊幸栋, 刘斌

浙江精工智能建材机械有限公司 浙江绍兴

【摘要】 机械设备在运行过程中会产生一定的噪声问题, 包括设备内部零件运行产生的噪声和气动噪声。为了减少机械噪声污染, 保护机械周围环境和人员安全, 必须将机械运行噪声控制在标准值以内。噪声污染是世界上三大污染之一, 同样会影响人们的生活, 甚至降低人们身心健康水平。为降低噪声污染, 持续提高机械设备发展水平, 有必要积极将减振降噪技术融入机械设计中。因此, 在机械设备的设计阶段, 应采取减振降噪措施, 控制噪声源和噪声传播路径, 增强机械设计的消声、隔声和吸声功能, 提前预防机械振动和气动噪声, 在机械设备运行阶段形成良好的振动和噪声控制, 强化机械设计的减振降噪效果, 确保机械设备投入使用后的安全可靠。

【关键词】 减振降噪; 机械设计; 具体应用

【收稿日期】 2024 年 2 月 10 日

【出刊日期】 2024 年 3 月 20 日

【DOI】 10.12208/j.ijme.20240007

The application of vibration and noise reduction in mechanical design

Xingdong Fan, Bin Liu

Zhejiang Seiko Intelligent Building Materials Machinery Co., LTD. Shaoxing, Zhejiang

【Abstract】 Mechanical equipment will produce certain noise problems during operation, including the noise generated by the operation of internal parts of the equipment and pneumatic noise. In order to reduce mechanical noise pollution, protect the environment around the machinery and personnel safety, it is necessary to control the noise of the machinery operation within the standard value. Noise pollution is one of the three major pollutants in the world, which also affects people's lives and even reduces people's physical and mental health. In order to reduce noise pollution and continuously improve the development level of mechanical equipment, it is necessary to actively integrate vibration and noise reduction technology into mechanical design. Therefore, in the design stage of mechanical equipment, vibration and noise reduction measures should be taken to control noise source and noise propagation path, enhance the noise reduction, sound insulation and sound absorption functions of mechanical design, prevent mechanical vibration and pneumatic noise in advance, form good vibration and noise control in the operation stage of mechanical equipment, and strengthen the vibration and noise reduction effect of mechanical design. Ensure the safety and reliability of mechanical equipment after it is put into use.

【Keywords】 Vibration and noise reduction; Mechanical design; Specific application

近年来我国进入高速发展的工业化时代, 机械设备已广泛应用于各行各业, 机械使用频率从一定程度上反映国家总体生产水平。但随着机械化程度提高, 机械化也给民众的工作和生活带来负面影响。机械在运转过程中会产生源源不断地噪音, 这在我们的日常工作和生活中是极为常见的, 采取一定的减振降噪措施才能有效降低噪音污染。

1 噪声的来源和分类

根据机械的噪声源的不同, 可以将噪声划分为空气动力性噪声和机械性噪声。空气动力性噪声主要是由高速气流、不稳定气流等气流与物体之间相互作用而产生的, 包括燃烧噪声、喷射噪声、旋转噪声等。机械性噪声主要是因为固体的振动而产生的, 在机械运行的过程中, 由于机械设备零件之间的碰

撞、旋转、振动导致噪声的产生。这类噪声包括齿轮噪声、周期性作用力激发的噪声、结构噪声、摩擦噪声、轴承噪声、转动系统的振动噪声、电磁噪声等。

2 机械噪声的来源

2.1 空气动力性噪声源

该类噪声是气流与气流之间, 或者是气流与机械零部件之间相互作用产生的噪声, 包括运动气流之间形成的气流噪声, 气流与静止机械零件之间形成的涡流噪声, 以及静止大气与机械运动部件之间的旋转噪声等。此外, 机械设备类型的不同, 产生的空气动力性噪声也有着很大的差异。比如, 燃油机械设备会产生喷射噪声或燃烧噪声, 由电力驱动带有大型风扇的机械设备, 则会有旋转噪声、涡流噪声等。

2.2 机械性噪声源

该类噪声是由机械设备运行形成的噪声, 像是机械零部件安装精度不够, 零部件之间碰撞产生噪声, 或是机械设备运转速度过快, 出现大幅度的振动形成机械噪声。机械噪声的类型较多, 主要有碰撞噪声、摩擦噪声、电磁噪声等等。机械噪声的出现与机械设计、零部件材料选用、生产制造工艺, 以及机械设备使用过程中的检修、维护质量, 乃至于机械设备工作环境等, 都有着较大的关系。需要在设计阶段提前进行机械的减振降噪设计, 尽可能在设计阶段解决机械性噪声问题, 降低机械设备投入使用后噪声污染发生的概率。

3 机械噪声源的控制设计

3.1 材料的选择

材料选择是机械设计的首要内容, 出于机械减振降噪的考虑, 在选择材料时需着重考虑其阻尼性能, 还要考虑到材料的物理、化学性能, 以及材料制造过程中选择使用的工艺等, 综合分析评价材料的各项性能, 以保证机械的高品质设计。从机械制造常用的几种金属材料来看, 阻尼性能无法满足减振降噪的需求, 像铜、铁、铝等, 这些金属在激振力的作用下, 振动能量消耗过少, 从而产生较大的噪声。而阻尼材料或是高分子材料则表现出了良好的阻尼性能, 当材料遭到激振影响时, 材料组分阻碍振动, 并将振动能量转化为热量, 达到降低振动噪声的目的。基于此, 在机械减振降噪设计中, 针对噪声源选择使用阻尼材料或高分子材料, 以此形成对振动噪声的有效控制。比如机械设备的运行环境粉尘过多, 机械齿轮选用阻尼材料制造, 减少噪声的同时, 避免不良

工作环境导致的齿轮腐蚀问题。

3.2 深化机械结构设计

机械设备在运行过程中会产生结构噪声, 该噪声在机械设备内部不是以空气为介质传播, 而是通过机械的零件、构件传播至外部, 比如机械设备内部封闭壳体结构, 其内部的零件振动引发的结构噪声。该噪声占据机械总声能的九成以上, 噪声的影响范围较大, 需通过机械结构的深化设计, 改善机械结构零部件之间的协调性、整体性等, 以形成对该噪声的良好控制。

(1) 振动筛结构设计。振动筛机械设备在工作状态下, 持续振动会产生较大的噪声。在该机械结构设计中, 进行振动筛轴承滚动体结构的改善, 或者是专门针对其噪声源采用减振器设计, 形成对结构噪声的抑制。比如, 振动筛对于轴承结构相对运动的要求较低, 在此处安装减振器, 起到减缓激振的效果。在要求较高的情况下, 则建议振动筛采用空心滚动体轴承, 提高整体轴承的强度, 稳定振动筛结构, 从而抑制振动噪声。

(2) 齿轮结构设计。机械内部齿轮在运行状态下, 齿轮组中各个齿轮相互之间啮合运动完成机械动作要求, 由此引起齿轮之间的碰撞与摩擦, 导致齿轮过大的振动而产生噪声。齿轮在高速转动的过程中, 包括齿轮组在内的整个齿轮箱体在振动的影响下, 易发生共振现象, 会进一步增加噪声分贝。因此, 齿轮结构深化设计应从以下几点入手: 一是在用户机械结构设计需求的范围内, 尽量采用斜齿轮及人字齿轮设计, 使机械运动更加平稳, 齿轮结构力传递得更加均衡, 降低激振力, 起到降噪的效果; 二是将齿轮的压力角控制在 20° 左右, 但要保证齿轮可满足负载要求; 三是齿隙的准确控制, 齿侧的间隙过大与过小都会引起噪声, 合适的间隙设计对于减振降噪非常重要; 四是对于因齿轮在生产制造期间精度不够导致的噪声, 可通过齿轮修齿进行弥补, 保证齿轮之间的良好啮合, 减少齿轮运行中的摩擦和撞击; 五是加强齿轮质量的检验, 设计阶段进行齿轮制造精度的严格把关, 可有效避免机械投入使用后的噪声; 六是齿轮设计阶段选用大黏度的润滑油, 维持齿轮高质量的传递功率, 保持齿轮之间的润滑, 并起到缓冲撞击和摩擦的作用; 其实在齿轮材料选用上, 注重材料的阻尼性能, 合理地运用该材料, 可起到减振、隔振的作用。比如阻尼金属、黏弹性阻尼材料等,

也可使用阻尼材料制作成阻尼层, 直接粘贴在齿轮表面, 达到减振降噪的目的。

(3) 电机结构设计。电磁噪声主要发生在用电机械设备上, 比如变频器、电动机、变压器等, 尤其是大型设备的电磁噪声表现明显。以工业用交流异步电动机槽噪声为例, 在机械结构设计中, 可加大气隙间距达到减小噪声的目的, 主要是因为通过气隙的增加, 形成对磁极磁通密度的饱和程度的控制, 减少功率因数。也可应用气隙间距的变化设计, 或是联合使用斜槽转子设计, 提高降噪的效果。经过以上设计分析, 在电磁噪声控制中, 采用如下设计方案: 一是减少气隙磁密, 形成对高次谐波的控制; 二是应用斜槽转子设计, 起到降低齿谐波的效果; 三是优化定子转子磁场均匀度, 增加气隙设计, 降低磁拉力, 并提高两者的制造精度, 保证气隙的均匀, 同样具备控制电磁噪声的效果; 四是进行闭口齿槽设计以控制高次谐波。

(4) 液压泵结构设计。液压泵在运行过程中, 会形成液体与机械两种噪声。液压泵在泵送液体时, 液体流动或是其对泵结构产生冲击与摩擦, 形成了噪声, 结构设计方案可选用阻尼材料进行解决。液压泵持续作业形成动力压强产生噪声, 该噪声分为两种: 一种是机械噪声, 比如机械振动形成的噪声, 或是机械零部件接触形成的噪声; 另一种是流体噪声, 液压泵运行形成的压力流量以及气穴、气蚀等。根据噪声的形成原因进行减振降噪的结构设计, 首先是主阀阀口与阀座的气蚀噪声, 阀芯半锥角-阀座半锥角 $=3^\circ$, 并减少阀体回流腔的尺寸, 节流口设计为长通道形, 以达到减少旋涡的目的, 降低噪声分贝; 其次是压力波动噪声, 维持液压溢流阀压力的平衡, 增加先导阀弹簧的刚度, 并调整芯锥阀头部的流动状态, 建议使用圆弧形, 以消减涡流区的作用力; 最后, 基于机械噪声的成因, 应从液压泵溢流阀阀芯与阀套间材料选择上入手, 建议使用金属石墨、陶瓷等, 保证零部件之间的润滑特性, 减少摩擦与碰撞形成的噪声。

(5) 进排气结构设计。以内燃机噪声为例, 在其排气过程中, 会释放高压与高温气体, 这些气体与空气碰撞形成噪声。比如进气冲程时, 气流高速进入内燃机, 与其燃气室结构产生气流冲击。进排气噪声主要是由于进气和排气与空气或内燃机结构发生相互冲击, 从而产生了噪声。在机械结构设计中, 对噪

声源进行减振降噪设计, 建议增加空气滤清器设计, 并进行进气通道、排气通道的设计优化, 降低内压力脉动, 使气流顺畅流动, 以此降低进排气噪声。

(6) 风机结构设计。风机噪声是由气流引起的, 主要有旋转噪声与涡流噪声, 属于空气动力性噪声。在风机结构降噪设计中, 相关的研究人员针对普通风机与倾斜蜗舌风机进行了比对, 发现两者声级曲线不同, 普通风机产生的声级较高。所以, 风机结构优化可参照倾斜蜗舌风机, 一是提高蜗舌间距, 给予风流一定的缓冲, 同时增加蜗舌的倾斜度, 对风流形成一定的阻挡, 并降低冲击力; 二是蜗舌曲率半径的调整, 进行旋转噪声的抑制; 三是风机叶道出口影响着涡流噪声, 减少其相对宽度, 形成对该噪声的有效控制。

4 噪声源控制途径

4.1 选用科学的机械设施

在进行机械设计时, 需要合理利用金属材料, 这样可以降低机械设备内的内阻尼性能。在设备运转过程, 严格控制机械设施的振动, 能够有效减少能源的耗损。随着机械设施激振力的出现, 机械设备内的结构就出现改变, 其中所涉及的噪声将通过表面形式得到传播。若机械设备的运转过程, 材料内的内阻尼性能偏高, 则整个设备降振效果就会不断提高。针对部分高分子材料而言, 内阻尼性能能够有效提高机械设施激振承受能力, 还将减少机械设施的能量消耗, 进而降低机械设施在运行过程所造成的振动效果。

4.2 完善机械装置的结构

机械装置在运转时不可避免地会有结构噪音的存在, 这种辐射源并不会直接表现空气里。噪音扩散的途径源于机械装置的结构, 该种噪音在机械设备工作环节就有。当机械设施转动时, 主要包含齿轮箱与振动筛等, 尽管齿轮箱是封闭式的机械设施, 而振动筛在运行过程必定会出现振动效应, 并且结构振动所出现的辐射几率很高, 在总声能中占据的比重已超过 93%, 如此就要求在机械设计阶段, 完善引起结构噪音的机械装置, 便于完全规避噪音。

(1) 齿轮箱工作时噪音的产生。机械装置中齿轮在工作时噪音的产生, 主要是因为齿轮间相互撞击以及齿轮间出现摩擦而造成齿轮体有所振动引起的齿轮噪音。对于齿轮噪音, 能够采取以下措施进行控制: ①以斜齿轮和人字齿轮取代原来的直齿轮, 来保证齿轮工作时所产生的噪音实现均匀传播。因为此时所出现的冲击载荷很小, 且其还能够保证齿轮

稳定运行状态下, 以此不断减少噪声。②兼顾到负载问题, 缩小齿轮的压力角, 最好的角度为 20° , 能够有效减少噪音。③针对齿侧间隙应科学设置, 能在很大程度上减少噪音的分贝, 若齿侧间隙很大, 就会造成撞击噪音的产生。

(2) 振动筛在运行时所出现的噪音。机械设施运行环节, 为防止处在旋转状态下的振动筛出现结构噪音, 能够适当调节轴承滚动体的构造, 也能够通过安设减震器的途径降低结构噪音。若对轴间所出现的相对运行较低, 就能够在轴承和振动筛间或是激振器和振动筛间安设减震器。针对减震器的选取, 需要减震器的参数能够让机械设施在运转时维持振幅良好, 且振动器能够处在稳定的运转状态下, 伴随振动器的高频响应不断下降, 降噪的效果便会更加明显。一般小型振动筛减小噪音量都能够达到 6 分贝, 但大型或是中型振动筛减小噪音量会大很多。

5 减振降噪在机械设计中的具体应用

5.1 利用吸声技术控制机械噪声

吸声技术的关键就是选取具有吸声性质的材料, 将其充当机械设计材料的一份子, 吸声材料具有一定的粘滞性和导热性, 当声音进入到材料当中的缝隙时, 声波与材料纤维产生振动引发热能, 并能以极快的速度消耗殆尽, 有效阻止了声音的传播。在机械房的内部以及房屋顶部可以适当地贴一些吸声材料, 以此, 降低机械房内的噪音, 还能有效地避免噪音传播到外界环境中。

5.2 利用隔声技术控制机械噪声

隔声技术的关键就是选取具有隔声性质的材料, 将机械房内的噪音挡回去, 以此达到降噪的效果。为了更好地实现降噪效果, 可以采用吸声技术与隔声技术相结合的方式, 在进行机械设备的设计时, 在设备的筒体位置安装隔声套利用隔声套将齿轮箱、电机等噪声源隔离起来。隔声屏的应用原理与隔声套具有一定的相似性, 可以根据具体的操作需要, 设计固定式或者是移动式的隔声屏, 以便很好地阻挡噪音, 避免噪音外泄给人们带来困扰。

5.3 利用消声设备控制机械噪声

除了吸声、隔声技术以外, 在机械设计中, 合理地采用消声设备也能够很好地消除部分噪声, 被动消声的方式被广泛应用于机械设计中。消声器是目前使用最广泛的消声装置, 这种设备的科技技术含量高, 制造材料所花费的成本也比较大, 技术含量与

制造成本和消声的效果成正比的关系。在机械设计中, 如果噪声对空气的动力的依附较大, 使用消声设备是最为恰当的控制噪声的办法, 消声器的安装能够促进空气气流的流通, 将噪音消除在机械房内, 就能有效法避免噪声散播到人们居住的环境中去。消声设备不应用于产生电磁噪声或者结构噪音的机械设备中, 这两种类型的噪声都无法使消声器发挥降低进气口、排气口的噪声的作用, 因此, 消声设备的使用要根据噪声情况而定。

5.4 利用隔振技术控制机械噪声

振动是机械设备运行的必备条件, 而振动又是噪声产生的必备条件, 所以在机械设计中, 对振动源采取防振措施的隔振技术是有效降低噪音的技术手段。技术人员在对振动源采取防振动方法时, 可以利用主动隔振技术以及被动隔振技术, 将机械振动的阻尼件与弹性元件连接起来, 利用一些隔振材料或者相应的防振技术降低机械的振动幅度和振动频率, 从噪音的振动源上防止噪音产生。隔振系统的构成要素主要是弹簧和阻尼器, 其隔振原理就是弹簧和阻尼器在振动进入隔振系统之后发挥各自的隔离作用, 起到隔离振动的效果。

总之, 振动和噪音都是影响机械设备运行质量的重要因素, 也是影响人们生活以及社会环境的关键所在, 因此, 相关研究者在进行机械设计时要从所用的材料入手, 利用消声设备、隔振技术、吸声技术与隔声技术相结合的方式降低或者消除噪音, 以此促进机械运行的绿色化发展。

参考文献

- [1] 杨浩宇. 减振降噪在机械设计中的应用分析. 2021(09): 100-102.
- [2] 刘思源. 减振降噪在机械设计中的应用研究. 2022(07): 90-92.
- [3] 张春幸, 秦梦涛. 减振降噪在机械设计中的应用[J]. 南方农机, 2022(013):053.
- [4] 李龙, 温毅, 康文凯, et al. 现代机械设计中减振降噪技术的运用[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(6):138-140.
- [5] 王桂杰, 黄为民, 杨通, 等. 一种零部件加工机床的阻断式减振降噪结构. CN202211056938.6[2024-05-13].

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS