

离心泵系列设计中的振动与噪音控制策略探讨

仇伟伟¹ 徐胜权²

1. 利欧集团浙江泵业有限公司 浙江温岭 317500

2. 利欧集团泵业科技有限公司 浙江杭州 310000

摘要: 本文围绕离心泵系列设计中的振动与噪音控制策略展开探讨。先阐述离心泵在工业、民用等领域的重要应用及因振动和噪音带来的问题。接着介绍离心泵产生振动与噪音的理论基础,包括机械原理、流体力学原理等。然后详细分析控制振动与噪音的策略,如优化结构设计、改进制造工艺、采用减振降噪装置等。旨在通过合理策略降低离心泵振动与噪音,提高其运行稳定性、效率和使用寿命,为离心泵系列设计提供理论参考与实践指导。

关键词: 离心泵; 振动控制; 噪音控制; 结构设计; 制造工艺

引言

离心泵作为一种常见的流体输送设备,广泛应用于石油化工、电力、冶金、给排水等众多领域。它通过叶轮的高速旋转使液体获得能量,实现液体的输送。然而,在离心泵的运行过程中,振动与噪音问题较为突出。这些问题不仅会影响离心泵的工作效率和使用寿命,还可能对周围环境和操作人员的健康造成不良影响。因此,在离心泵系列设计中,深入探讨振动与噪音的控制策略具有重要的现实意义。

一、离心泵产生振动与噪音的理论基础

1. 机械原理导致的振动与噪音

离心泵的机械结构是产生振动与噪音的重要原因之一。叶轮作为离心泵的核心部件,其不平衡问题不容忽视。在制造过程中,由于加工精度的限制或材料的不均匀性,叶轮的质心可能偏离旋转中心。当叶轮高速旋转时,这种不平衡会产生离心力,该离心力随着叶轮的转动周期性变化,从而引发泵体的振动,并产生噪音。例如,叶轮的叶片厚度不一致,会导致质量分布不均,在旋转时产生不平衡力。泵轴的弯曲变形也是产生振动的重要因素。泵轴在运行过程中承受着来自叶轮、液体以及其他部件的负荷。如果泵轴的刚度不足或安装不当,就容易发生弯曲变形。弯曲的泵轴在旋转时会产生额外的离心力,破坏泵的旋转平衡,进而产生振动和噪音。轴承在离心泵的运行中起着支撑和减少摩擦的作用。然而,轴承的磨损、松动或润滑不良,会使轴承的运行状态恶化。磨损的轴承会增加摩擦阻力,导致轴承温度升

高,同时产生振动和噪音。松动的轴承会使泵轴在旋转时产生晃动,进一步加剧振动。而润滑不良会使轴承的摩擦增大,降低其使用寿命,同时引发噪音。联轴器是连接泵轴和电机轴的重要部件。如果联轴器不对中,会导致泵轴和电机轴之间的力传递不均匀。在旋转过程中,这种不均匀的力传递会使泵产生振动,并伴随噪音。例如,联轴器的轴向偏差或径向偏差过大,都会影响泵的正常运行,产生振动和噪音。

2. 流体力学原理导致的振动与噪音

从流体力学角度看,离心泵内部的流体流动是产生振动与噪音的另一个重要因素。气蚀现象是离心泵中常见的问题,当液体在泵内流动时,在叶轮进口等低压区域,液体的压力可能低于其饱和蒸汽压,此时液体就会发生汽化形成气泡。这些气泡随着液体流动到高压区域时,又会迅速破裂,产生强烈的冲击力。这种冲击力会作用在叶轮和泵体的壁面上,引起泵体的振动和噪音。长期的气蚀还会导致叶轮和泵体的损坏,降低泵的使用寿命。流道内的流体湍流也是产生噪音的重要原因。在离心泵的流道中,当流体的流速较高或流道形状不规则时,流体就会处于湍流状态。湍流状态下,流体的速度和压力分布不均匀,会对泵的壁面产生不稳定的作用力。这种不稳定的作用力会使泵体产生振动,并通过空气传播形成噪音。液体的流量和压力波动也会引起泵的振动和噪音。在离心泵的启动、停止或调节过程中,液体的流量和压力会发生变化。例如,在调节阀门时,阀门的开度变化会导致液体的流量和压力波动。这种波动会使泵内的流体流动状态发生改变,从而引起泵的振动和噪音。

3. 电磁原理导致的振动与噪音

对于电动离心泵，电磁力也是产生振动与噪音的原因之一。电机的电磁振动主要源于定子和转子之间的电磁相互作用。当电机运行时，定子绕组中通入交流电，会产生旋转磁场。转子绕组中的电流在该磁场的作用下，会受到电磁力的作用而旋转。如果定子和转子之间的电磁力分布不均匀，或者存在谐波成分，就会引起电机的振动。这种振动会通过电机与泵的连接部件传递到离心泵上，产生噪音。电机的磁路不平衡也是导致电磁振动和噪音的一个因素。磁路不平衡可能是由于电机的制造误差、磁材料的不均匀性或安装不当等原因引起的。磁路不平衡会导致磁场分布不均匀，从而产生不平衡的电磁力，引发电机的振动和噪音。例如，电机的定子铁芯的硅钢片叠装不整齐，会导致磁路的磁阻不均匀，产生磁路不平衡。气隙不均匀同样会对电机的电磁性能产生影响。气隙是定子和转子之间的空隙，气隙的大小和均匀性会影响电磁力的分布。如果气隙不均匀，会使电磁力在圆周方向上分布不一致，从而引起电机的振动和噪音。此外，气隙的大小还会影响电机的性能，气隙过大或过小都会导致电机的效率降低，同时增加振动和噪音的产生。

二、离心泵系列设计中控制振动与噪音的策略

1. 优化结构设计

在离心泵的结构设计方面，可采取多种措施来控制振动与噪音。首先，提高叶轮的平衡精度是关键。在制造叶轮时，采用高精度的加工设备和工艺，严格控制叶轮的质量分布。例如，通过精确的数控加工，确保叶轮的叶片形状和尺寸一致，减少质量偏差。在叶轮制造完成后，进行动平衡测试，通过在叶轮上添加或去除材料，使叶轮的质心与旋转中心重合，从而减少因不平衡产生的振动和噪音。合理设计泵轴的直径和长度也非常重要。根据泵的工作要求和负荷情况，计算出合适的泵轴直径，以提高泵轴的刚度。适当缩短泵轴的长度，可以减少泵轴的弯曲变形。同时，选择合适的泵轴材料，提高其强度和韧性。例如，采用高强度合金钢制造泵轴，能够提高泵轴的抗弯曲能力，减少振动的产生。采用合适的轴承类型和规格，并保证良好的润滑，对于降低轴承的振动和噪音至关重要。根据泵的工作条件，选择具有良好耐磨性和抗振性能的轴承。例如，对于高速旋转的离心泵，可选用滚动轴承，并采用合适的润滑脂进行润滑。定期检查和更换润滑脂，确保轴承的良好运行状态，减

少因轴承问题产生的振动和噪音。优化流道设计是减少流体引起的振动和噪音的有效措施。采用光滑的流道表面，减少流体的摩擦阻力，使流体在泵内的流动更加顺畅。合理设计流道的形状和尺寸，避免流道内出现漩涡、回流等不良流动现象。例如，采用渐缩或渐扩的流道设计，使流体在流道内的速度和压力分布更加均匀，减少气蚀和湍流的发生，从而降低振动和噪音。

2. 改进制造工艺

制造工艺对离心泵的振动与噪音控制也至关重要。提高零部件的加工精度是减少振动和噪音的基础。在加工叶轮、泵轴等关键零部件时，采用先进的加工技术和设备，严格控制加工误差。例如，采用五轴联动加工中心加工叶轮，能够精确控制叶片的形状和尺寸，减少制造误差，提高叶轮的质量。采用先进的装配工艺，确保零部件之间的安装精度。在装配过程中，使用高精度的测量工具和装配设备，严格按照装配工艺要求进行操作。例如，在安装联轴器时，采用激光对中仪进行对中调整，确保泵轴和电机轴的同轴度，减少因不对中产生的振动和噪音。同时，在装配过程中，注意零部件的清洁和润滑，避免杂质进入轴承等关键部位，影响泵的运行稳定性。对关键零部件进行表面处理，能够提高其耐磨性和抗气蚀性能，减少因磨损和气蚀引起的振动和噪音。例如，对叶轮进行表面硬化处理，如渗碳、氮化等，能够提高叶轮表面的硬度，减少叶片的磨损。对叶轮进行涂层处理，如喷涂耐磨涂层或防气蚀涂层，能够有效防止气蚀的发生，延长叶轮的使用寿命，同时降低振动和噪音。

3. 采用减振降噪装置

为了进一步控制离心泵的振动与噪音，可以采用各种减振降噪装置。在泵的基础上安装隔振器，如橡胶隔振器、弹簧隔振器等，能够有效隔离泵的振动传递到基础和周围结构上，减少振动的传播。橡胶隔振器具有良好的弹性和阻尼性能，能够吸收泵的振动能量，降低振动的传递效率。弹簧隔振器则适用于较大负荷的离心泵，能够提供稳定的支撑和隔振效果。在泵的进出口管道上安装柔性接头，能够吸收管道的振动和位移，降低管道系统对泵的振动影响。柔性接头具有一定的弹性变形能力，能够补偿管道因热胀冷缩、安装误差等原因产生的位移。同时，柔性接头还能够减少管道内流体的压力波动对泵的影响，降低振动和噪音的产生。例如，采用金属波纹管柔性接头或橡胶柔性接头，能够有效地隔离管道的振动，提高泵的运行稳定性。使用隔音罩将离心泵

封闭起来，能够阻止噪音的传播，降低噪音对周围环境的影响。隔音罩通常采用隔音材料制成，如吸音棉、隔音板等，能够吸收和反射噪音。在隔音罩内添加吸音材料，如玻璃棉、岩棉等，能够进一步提高隔音效果。

三、离心泵系列设计中振动与噪音控制的相关考虑

1. 成本与效益的平衡

在实施振动与噪音控制策略时，需要考虑成本与效益的平衡。一些控制措施，如采用高精度的制造工艺、安装昂贵的减振降噪装置等，会增加离心泵的制造成本。例如，采用五轴联动加工中心加工叶轮，设备成本和加工成本都较高；安装高性能的隔振器和隔音罩，也会增加设备的采购成本。因此，需要在保证控制效果的前提下，选择合适的控制策略，使成本与效益达到最佳平衡。可以通过技术经济分析，评估不同控制策略的成本和效益。对各种控制措施的成本进行详细的核算，包括设备采购成本、加工成本、安装成本、维护成本等。同时，评估这些控制措施对振动和噪音的控制效果，以及对泵的性能和使用寿命的影响。通过比较不同控制策略的成本和效益，选择最具性价比的方案。

2. 与其他性能的协调

离心泵的振动与噪音控制策略应与其他性能要求相协调。在优化结构设计以降低振动与噪音时，不能牺牲泵的效率 and 流量等性能指标。例如，在设计流道时，如果过于追求流道的光滑度而改变流道的形状，可能会影响泵的水力性能，导致泵的效率降低或流量不足。因此，在设计过程中，需要综合考虑各种因素，通过优化设计和合理选型，实现振动与噪音控制与其他性能的协调发展。在采用减振降噪装置时，要确保其不会对泵的安装、

操作和维护产生不利影响。例如，安装隔音罩时，要考虑到隔音罩的通风和散热问题，避免因通风不良导致泵的温度升高，影响泵的正常运行。同时，隔音罩的结构应便于操作人员进行日常的检查和维护，不影响泵的操作便利性。在选择控制策略时，还需要考虑到泵的可靠性和稳定性。一些控制措施可能会增加泵的复杂性，从而影响泵的可靠性。因此，需要在控制振动与噪音的同时，确保泵的可靠性和稳定性不受影响。例如，在采用新型的减振降噪技术时，要进行充分的试验和验证，确保其在实际运行中的可靠性。

结论

本文系统探讨了离心泵系列设计中的振动与噪音控制策略。明确了离心泵产生振动与噪音的机械、流体力学和电磁等理论基础，提出了优化结构设计、改进制造工艺、采用减振降噪装置等控制策略，并阐述了相关考虑因素。通过合理应用这些策略，有望有效降低离心泵的振动与噪音，提升其运行性能和可靠性。但实际应用中仍需不断探索和改进，以更好地满足不同工况和需求，促进离心泵技术的发展。

参考文献

- [1] 马思楠. 基于颗粒阻尼技术的离心泵管道减振研究 [D]. 北京化工大学, 2024.
- [2] 付晴川. 大型光源类工程储存环结构微振动控制概念设计方法研究 [D]. 华北水利水电大学, 2023.
- [3] 江琦. 梯级泵站管道耦联振动特性与振动控制研究 [D]. 华北水利水电大学, 2017.