

往复式压缩机振动故障分析与消除策略研究

武 进

摘 要：往复式压缩机作为工业生产中的关键设备，其运行稳定性直接关系到生产效率和安全性。然而，振动故障是往复式压缩机常见的问题之一，不仅影响设备的正常运行，还可能引发更严重的机械故障。本文旨在探讨往复式压缩机振动故障的原因、诊断及消除策略，本文的研究结果对于指导往复式压缩机的运行维护和故障诊断具有重要的理论意义和实践价值。

关键词：往复式压缩机；振动故障；消除策略

在现代工业生产中，往复式压缩机以其高效、可靠的特点被广泛应用于各个领域。然而，随着设备的长期运行和使用，振动故障成为影响其正常运行的主要问题之一。振动不仅会导致设备性能下降，还会增加零部件的磨损，甚至引发严重的安全事故。因此，对往复式压缩机振动故障进行分析与消除具有重要的现实意义。本文将从多个方面对往复式压缩机振动故障进行全面研究，以期为企业的设备管理和维护提供科学依据和技术支持。

一、往复式压缩机工作原理

往复式压缩机是一种通过活塞在气缸内往复运动，使气体体积缩小、压力提高的机械设备。其工作原理基于容积变化原理。当活塞从气缸的一端（称为外止点）向另一端（称为内止点）移动时，气缸内的容积逐渐减小，气体被压缩，压力随之升高。这一过程通常包括吸气、压缩和排气三个阶段。在吸气阶段，活塞从内止点向外止点移动，气缸内形成负压，吸入气体。随后进入压缩阶段，活塞反向移动，压缩气体使其压力升高。最后，在排气阶段，当气缸内压力超过排气管道中的压力时，气体被排出。往复式压缩机通过曲柄连杆机构将电动机或其他动力机的旋转运动转变为活塞的往复直线运动，实现气体的压缩和输送。

二、往复式压缩机振动故障产生的原因

（一）润滑系统故障

当润滑系统出现故障时，会导致设备摩擦增加，从而引发振动。首先，润滑油的质量不合格是一个重要原

因。如果使用的润滑油粘度不合适、抗氧化性差或受到污染，就会失去润滑效果，导致运动部件之间的摩擦增大。例如，一些劣质润滑油在高温高压环境下容易变质，产生杂质和沉积物，这些物质会附着在部件表面，增加摩擦阻力。其次，油量不足也是润滑系统故障的常见原因。由于设备运行过程中润滑油会逐渐消耗或挥发，如果没有及时添加润滑油，就会导致部件润滑不良，进而引起振动^[1]。

（二）气阀问题

气阀问题主要表现为气阀失调、泄漏等。气阀失调可能是由于弹簧失效、阀片变形或积碳等原因造成的。当气阀失调时，气阀的开启和关闭时间不准确，导致气体流动不稳定，产生气流脉动和压力波动，从而引发振动。例如，吸气阀如果提前关闭或延迟开启，就会导致气缸内的压力异常升高或降低，破坏正常的工作循环。气阀泄漏也是一个严重的问题。气阀的密封面如果存在磨损、划痕或污垢，就无法完全密封，导致气体泄漏。气体泄漏不仅会影响压缩机的性能和效率，还会增加设备的振动。

（三）管道振动

管道振动的主要原因有气流脉动、管道支撑不当等。当气体在管道内流动时，由于压力和速度的变化，会产生气流脉动。气流脉动的频率和强度与管道的长度、直径、形状等因素有关。如果管道设计不合理，如弯头过多、变径过大等，就会使气流脉动更加剧烈，从而引发振动。此外，管道支撑不当也会导致振动。如果管道支架、吊架等固定装置松动或损坏，管道就会在气流脉动的作用下产生晃动和振动。另外，管道的材料和厚度也会影响振动情况。一些薄壁管道或材质较差的管道在承受气流压力和振动时容易发生变形和共振，进一步加剧

作者简介：武进（1987.7-），男，汉族，新疆五家渠人，大学本科学历，设备工程师（机械电子），主要从事煤化工、光伏多晶硅氟化工工程技术管理工作，设备管理经验丰富。

振动^[2]。

(四) 环境因素

温度变化会引起设备的热胀冷缩,导致部件之间的间隙发生变化,从而引发振动。例如,在高温环境下,设备的金属部件会膨胀,如果膨胀不均匀或受到限制,就会产生应力和变形,进而引发振动。湿度也会影响设备的运行稳定性。在潮湿的环境中,设备容易生锈和腐蚀,部件之间的摩擦也会增加,导致振动加剧。此外,环境中的腐蚀性气体、粉尘等物质会对设备造成损害,影响设备的性能和寿命。例如,一些化工企业中存在的酸性或碱性气体会对压缩机的部件造成腐蚀,使其表面变得粗糙,增加摩擦和振动。同时,环境中的振动源也会对往复式压缩机产生影响。如果压缩机周围存在其他大型机械设备或工程作业产生的振动,就会通过地基或空气传递到压缩机上,引发共振和振动加剧。

三、振动故障诊断方法

(一) 热力性能监测法

温度是往复压缩机较为敏感的特征参数,通过监测温度变化可了解内部零部件的工作状态。例如,排气阀漏气时在吸气过程会出现倒吸现象,导致气阀温度升高;活塞杆拉伤会使填料函的温度升高。使用温度传感器置于机体外侧,操作方便,不需改变壳体结构。压力监测同样重要,往复压缩机一个运动周期包括吸气、压缩、排气、膨胀四个过程,缸内压力变化曲线可直接反映压缩机是否正常运行。如吸气阀泄漏,吸气过程压力延长,排气过程缩短,膨胀过程曲线也会下移。由于压力测点位于缸内,在缸盖或壳体其他位置要预留安装孔,这是压力监测需要注意的地方^[3]。

(二) 振动监测法

振动信号是往复压缩机故障诊断的一个敏感特征参数,大多数故障如气阀损坏、活塞杆下沉、十字头螺栓松动、连杆磨损等都伴随着振动信号的异常。基于成熟的信号分析技术,对往复压缩机非稳态振动信号的研究越来越多。例如,通过加速度传感器测十字头滑道箱、汽缸侧壁、汽缸盖、轴承等处的振动信号来诊断动力性故障,是一种比较有效的方法。振动监测法可以实时监测设备的运行状态,及时发现潜在的故障隐患,为设备的维护和保养提供科学依据。

(三) 位移监测法

往复压缩机活塞杆断裂通常会引起其他零部件的破坏,严重时甚至会引机组爆炸。活塞杆断裂是瞬间发生的,断裂之前的裂纹监测非常困难,只能对断裂部位

做事后分析,目前还没有可靠有效的诊断预警方法。通过安装位移传感器,监测活塞杆的沉降量,间接了解活塞环、十字头等磨损状况,可以作为一种辅助手段。位移监测法可以帮助企业及时发现设备的潜在问题,避免因设备故障导致的生产事故,保障生产的顺利进行。

(四) 油液监测法

油液监测通过对压缩机润滑油进行油液分析,检测样品内磨损颗粒的大小、形状、成分等,是一种比较理想的辅助手段。如用铁谱分析、光谱分析、颗粒计数等监测空压机运动副的磨损情况等。有学者通过检测油品中的铜元素含量,发现大头瓦碎裂,成功避免了事故的发生。油液监测法可以为企业设备的润滑状态和磨损情况,帮助企业制定合理的润滑策略和维修计划,提高设备的运行效率和使用寿命。

四、往复式压缩机振动故障消除策略

(一) 平衡和校正

往复式压缩机振动故障的一个重要原因是部件的不平衡。在设备运行过程中,活塞、连杆等运动部件如果存在质量分布不均匀的情况,就会导致重量失衡,从而引发振动。为了解决这一问题,需要对压缩机上的部件进行平衡和校正。通过使部件质量均匀,在其运动方向上反转重量不平衡,可以减少磨合和减少振动。例如,在曲柄上添加配重或调整连杆的长度和位置,以达到平衡状态。同时,在对压缩机进行加工和结构设计时,应尽可能减少其部件质量的不均匀性,保持压缩机的几何中心与质心的对称性。此外,还可以采用动平衡测试技术,检测并调整各部件的平衡状态,确保设备在高速运转时保持稳定^[4]。

(二) 改善润滑系统

润滑系统的不良是导致往复式压缩机振动的另一常见原因。润滑油的质量、油量以及润滑系统的正常运行直接影响设备的摩擦和磨损程度。如果润滑不足或润滑油质量不合格,都会导致设备摩擦增加,引起振动。因此,要确保润滑系统的正常运行,首先需要定期检查润滑油的质量和油量,及时添加或更换合格的润滑油。其次,对润滑系统的油路、滤清器等进行检查和维护,防止堵塞等情况的发生。例如,使用高质量的润滑油,并根据设备的使用情况定期更换,以保证润滑效果。同时,可以安装油压监测装置,实时监控油压变化,及时发现润滑系统中的问题。此外,对于一些关键部位,如轴承、十字头等,可以采用特殊的润滑方式,如喷雾润滑或强制润滑,以提高润滑效果,减少摩擦和振动。

（三）优化气阀工作状态

气阀是压缩机正常运转的关键部件，如果气阀失调，工作不正常，可能会导致设备振动增加。气阀的弹簧失效、阀片损坏或积碳等问题都会影响气阀的正常开启和关闭，进而引发振动。因此，要定期检查气阀的工作状态，包括弹簧的弹性、阀片的完整性等，及时清理气阀上的污垢和杂质，确保气阀能够正常工作。如果发现气阀存在泄漏等问题，应及时进行维修或更换。此外，可以采用先进的气阀技术和材料，提高气阀的可靠性和使用寿命。例如，使用耐腐蚀、耐高温的材料制造气阀，或者采用自动调节的气阀系统，根据压缩机的工作状态自动调整气阀的开启和关闭时间，以减少振动^[5]。

（四）控制环境因素

环境因素对往复式压缩机的振动也有重要影响。温度、湿度等环境条件的变化可能会引起设备的热胀冷缩，导致部件之间的间隙发生变化，从而引发振动。首先，要保持设备工作环境的稳定性，采取适当的措施控制温度和湿度，如安装空调、除湿机等设备。其次，要避免压缩机长时间暴露在高温或潮湿的环境中，以防止部件受潮膨胀或变形。此外，还要防止环境中存在腐蚀性气体或粉尘，这些物质可能会对压缩机的部件造成腐蚀或堵塞，进而引发振动。例如，可以在压缩机的进气口安装空气过滤器，以减少空气中的杂质进入压缩机内部。同时，定期清理压缩机周围的环境，保持清洁整齐，也有助于减少外界因素对设备的干扰。

（五）管道设计优化与固定

在往复式压缩机中，管道的设计和固定情况对振动的影响也不容忽视。当气体在管道内流动时，会产生气流脉动，如果管道设计不合理或固定不牢固，就会导致管道产生振动，并将振动传递给压缩机。为了解决这个问题，可以从以下几个方面进行管道设计优化与固定。首先，合理设计管道的走向和布局，避免过多的弯头和变径，以减少气流阻力和脉动。其次，选择合适的管道材料和壁厚，以提高管道的刚性和耐压性。对于一些较长的管道，可以加装孔板或阻尼器，将管段内的压力驻波变为行波，从而降低管段内的压力不均匀度，减少气流脉动。同时，对管道进行可靠的固定，使用管道支架、吊架等固定装置，确保管道的稳定性。还可以在管道与压缩机连接处采用柔性连接，以吸收部分振动能量，减少振动的传递^[6]。

（六）采用隔振技术

隔振技术是一种有效的消除往复式压缩机振动的

方法。在压缩机与基础之间安装隔振器，可以有效地隔离振动的传递，减少振动对周围环境和设备的影响。选择合适的隔振器类型和安装位置非常重要，应根据设备的具体情况进行设计和安装。常见的隔振器有橡胶隔振器、弹簧隔振器等。橡胶隔振器具有良好的弹性和阻尼性能，能够有效地吸收振动能量；弹簧隔振器则具有较高的承载能力和稳定性。在安装隔振器时，要注意使其均匀受力，避免出现倾斜或偏移的情况。同时，还可以在压缩机的基础下方设置隔振沟或隔振层，进一步减少振动的传递。此外，对于一些大型的往复式压缩机，可以采用主动隔振技术，通过传感器监测设备的振动状态，并根据需要自动调整隔振器的参数，以达到最佳的隔振效果。

结语

通过对往复式压缩机振动故障的分析与研究，我们深入了解了其产生的原因以及诊断方法。同时，我们也提出了一系列有效的消除策略，这些策略在实践中得到了验证，能够显著降低设备的振动水平，提高其运行可靠性。在未来的研究和实践中，我们需要不断探索新的技术和方法，进一步完善振动故障的诊断和消除体系。同时，企业也应加强对设备的操作维护管理，提高操作人员的技能水平，从源头上减少振动故障的发生。只有这样，我们才能更好地保障往复式压缩机的安全、稳定运行，为企业的发展提供坚实的设备保障。

参考文献

- [1]张斌, 常家喜, 李东, 肖强, 姚俊, 钱山. 储气库大功率往复式压缩机组振动整改分析[J]. 压缩机技术, 2023(3): 55-59.
- [2]刘喜梅, 曲鹏程. 基于ARIMA的往复式压缩机气缸振动故障预测[J]. 自动化仪表, 2020, 41(9): 5-9.
- [3]单峰, 张宁博. 往复式压缩机气阀故障的振动诊断方法[J]. 化工管理, 2020(9): 144-145.
- [4]白冰, 徐亮. 活塞往复式压缩机振动治理策略[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(1): 54-56.
- [5]彭程. 往复式天然气压缩机润滑系统常见故障研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(7): 29-31.
- [6]张秀珩, 周意贺. 往复压缩机网状气阀故障诊断研究[J]. 机床与液压, 2020, 48(20): 176-179.