

火炬气回收系统螺杆压缩机振动分析及解决方案

余文

(扬子石油化工有限公司, 江苏 南京 211500)

摘要 螺杆压缩机被广泛应用于空调、制冷和工业气体压缩等领域, 其振动问题常常导致设备损坏、能耗增加和运行噪声加大, 严重时甚至影响系统安全。本文通过分析螺杆压缩机振动产生的原因, 提出了一系列有效的解决方案, 并指出振动的主要原因包括气体动力学不稳定、管路设计不合理等, 针对这些问题, 提出了优化气体流动设计与控制、引入减振装置、定期检查机械结构、增加振动监测预警系统以实时监控设备状态并提前预防故障等解决方案, 以期能够为有效降低螺杆压缩机的振动问题提供借鉴, 从而提高其运行稳定性, 延长其使用寿命。

关键词 螺杆压缩机; 振动问题; 气体动力学; 振动监测

中图分类号: TH45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.09.004

0 引言

螺杆压缩机作为一种广泛应用于空调、制冷、工业气体压缩等领域的重要设备, 其运行稳定性通常是决定整个系统效率的关键因素。随着工业化的不断推进, 螺杆压缩机的应用范围逐渐扩大, 对其运行质量的要求也越来越高。其中, 振动值超标作为螺杆压缩机常见的故障之一, 严重时会导致设备设施故障、运行噪声加大, 甚至危及系统的安全性。某石化企业可燃性气体回收系统改造项目自9月2日试生产开车以来, 3台LGW1120/2063型螺杆压缩机进出口管线振动严重超标, 长时间的振动导致管路多处法兰螺栓松动甚至泄漏, 由于火炬气成分极为复杂且其中富含硫化氢、一氧化碳等危险气体, 一旦泄漏会造成严重的中毒事故。因此, 研究螺杆压缩机的振动问题, 分析其原因, 并提出有效的解决方案, 具有重要的现实意义。

1 机组概况

LGW1120/2063型螺杆压缩机为单级喷液螺杆压缩机, 主要由阴阳转子、同步齿轮、机壳、碳环密封、干气密封等组成。

工作原理: 螺杆压缩机具有两个转子(阳转子与阴转子)装在壳体内部, 置于进气座和机壳的轴承上, 轴承和转子之间有轴封装置, 它可防止轴承的润滑油漏入气缸和气体自气缸向外泄漏。阴阳转子在进气端外侧设有同步齿轮^[1], 它使螺杆齿型间保持正常的啮合间隙, 而且同步齿轮的速比与阴、阳螺杆转子齿数比相等, 在每个转子上还设有推力轴承, 它承受由吸入和排出压力

差以及其它方面产生的轴向推力。阴阳转子之间, 转子外圆与壳体之间以及转子端面与壳体端面之间均有极小的间隙, 工作时相互之间不接触, 因此不会产生磨损, 也无需进行润滑。为了使转子间的间隙保持到最小值, 减小热膨胀对间隙的影响, 在压缩腔内喷入适量的冷却液, 用以调节因压缩而增高的排气温度^[2]。

2 火炬气回收系统螺杆压缩机振动现状

机组本体振动情况: 压缩机内部转子轴振动值在20 μm 左右, 报警值为58 μm ; 轴位移在100 ~ 150 μm 之间, 报警值为 ± 300 μm ; 机组本体内振动情况良好。

机组壳体振动情况: 目前, 最高值均在吸入段阴转子端盖处, 水平方向与轴向方向振动值在2 mm/s以内, 垂直方向三套机组振动最高值分别为9.34 mm/s、7.44 mm/s、10.09 mm/s, 振动达到C区。

管道振动情况: 目前振动最大值集中在入口管线三通处、过滤器等部位, 具体数值见表1。

3 火炬气回收系统螺杆压缩机振动原因分析

3.1 转子不平衡

转子作为螺杆压缩机的主要组成部件之一, 若转子存在不平衡现象, 会导致在运行过程中产生不均匀的离心力, 从而引发振动。转子不平衡的原因可能包括制造过程中的工艺问题、磨损或腐蚀造成的质量变化等。同时, 螺杆压缩机的转子通过轴承支撑并旋转。轴承如果出现损坏、磨损或润滑不良, 都会导致转子

不稳定,进而引发振动。轴承的故障常常是由于长时间运行或使用不合格的润滑油所致。通过前期单试、联试等数据分析以及长时间监测观察,螺杆压缩机组本体振动值基本符合设计要求,主要振动源在入口管路,因此初步排除转子及轴承原因。

表 1 压缩机入口管道振动数据表

日期	入口三通前		入口三通		入口过滤器		紧急泄压支线	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
	11月1日	2.23	4.34	5.23	18.46	13.45	2.23	6.65
11月2日	5.67	5.9	6.73	16.57	10.34	5.67	4.67	12.67
11月3日	3.89	3.67	4.67	14.96	11.78	3.89	5.12	13.12
11月4日	4.56	4.89	5.12	17.32	12.56	4.56	5.67	10.89
11月5日	5.12	5.45	3.89	17.56	13.23	5.12	4.56	14.67
11月6日	2.78	2.34	5.67	18.66	15.78	2.78	5.12	12.89
11月7日	5.24	3.78	3.89	21.07	12.67	6.56	7.21	13.56
11月8日	4.23	4.56	4.56	15.43	13.12	4.23	4.23	14.12
11月9日	5.89	5.23	5.12	14.34	10.89	5.89	5.89	10.78
11月10日	3.45	4.33	2.78	18.39	14.67	3.45	5.23	16.25

3.2 复查机组的对中找正

在严格遵循图纸要求完成机组基础施工并通过验收后,对机组安装的对中找正进行了系统性复核^[3]。针对 C-301 机组,通过拆除联轴节并重新执行轴心对中操作,经多维度数据对比分析,发现前后测量偏差值处于技术容许范围内,且地脚螺栓已按规范紧固。综合评估表明,安装对中找正环节未发现异常因素。

3.3 入口回流线扰动

组织对压缩机组的回流阀开度进行了调整测试,关闭回流阀后,入口压力略微降低,出口压力基本维持不变。

测试结果数据如表 2 所示。测振结果表明,入口回流阀的开度与机组本体及入口管路振动并没有直接关联,因此初步排除入口回流影响。

表 2 螺杆压缩机测振记录表

机组位号	测试位置	回流阀开度 15%, 吸入口压力 1.22 KPa		回流阀开度 0%, 吸入口压力 1.07 KPa	
		方向	振动值 (mm/s)	方向	振动值 (mm/s)
		C301	入口三通前管线(1#测点)	水平方向	3.8
		垂直方向	4.5	垂直方向	4.6
	入口三通(2#测点)	水平方向	7.0	水平方向	5.8
		垂直方向	19.7	垂直方向	18.8
	入口过滤器(3#测点)	水平方向	14.2	水平方向	15.6
		垂直方向	4.9	垂直方向	5.3
	非驱动端阴转子(23#测点)	水平方向	0.4	水平方向	0.8
		垂直方向	9.8	垂直方向	9.7
		轴向	1.6	轴向	1.4
C302	入口三通前管线(1#测点)	水平方向	1.2	水平方向	1.6
		垂直方向	2.7	垂直方向	1.8
	入口三通(2#测点)	水平方向	8.8	水平方向	6.5
		垂直方向	12.7	垂直方向	14.7
	入口过滤器(3#测点)	水平方向	13.8	水平方向	14.1
		垂直方向	5.2	垂直方向	6.5
	非驱动端阴转子(23#测点)	水平方向	1.0	水平方向	0.8
		垂直方向	7.9	垂直方向	8.1
		轴向	2.0	轴向	1.5

3.4 气体动力学不稳定

螺杆压缩机在压缩过程中,气体流动的不稳定性也是引起振动的一个重要因素,特别是在低负荷或高负荷运行时,气体流速、压缩比等参数的波动可能导致气流振动,从而影响设备的稳定性。在螺杆压缩机的运行过程中,气体流速受到多种因素的影响,包括负荷变化、气体输入压力波动、转速变化等。随着运行转速的升高,压缩机转子轴系不平衡力增加,压缩机振动增大;随着排气压力的升高,气流脉动激励增大,压缩机振动不断增加^[4]。

3.4.1 压缩机负载

在低负荷情况下,压缩机的负载较轻,气体流速可能较低,且波动较大,这容易导致气流的不稳定。而在高负荷运行时,压缩机工作在较高的压力和流量状态下,气体流速的剧烈波动同样会引发压缩机的振动。因此,气体流速的波动是影响压缩机稳定性的重要因素。

3.4.2 压缩比变化

螺杆压缩机的工作原理基于气体压缩过程,压缩

比的合理控制对气体流动稳定性至关重要。当压缩比偏离设计范围时,气流易形成湍流,导致流动状态恶化。同时,喷液量的增加会降低压缩机功率,主要原因在于:喷液量的提升使吸气温度下降,吸气焓值随之降低,经过压缩后,排气温度和排气焓值进一步减少。这种工况下,压缩机需消耗额外能量维持油气混合物的压缩过程,但单位气体焓值的处理效率反而下降^[5]。当压缩机运行在高负荷状态下,压缩比的波动可能会加剧这一现象。相反,在低负荷下,气体压缩比过低时,气体无法稳定地被压缩,容易引发振动。

3.4.3 气体动力学特性

螺杆压缩机内部气体的动力学特性决定了气体的流动状态。不同类型的气体、温度、压力以及流速等参数的变化,都会影响气体流动的稳定性。在高负荷和低负荷条件下,气体的动力学特性会有所不同,进而导致气流不稳定。此外,气体的热膨胀效应、黏度变化等因素也会对流动产生影响。

3.4.4 压缩机设计与气流通道的影响

螺杆压缩机的内部结构和气流通道设计也是影响气体流动稳定性的关键因素。如果压缩机的设计不合理,气流通道可能存在较大的阻力或不平衡,导致气流在某些区域出现涡流或湍流,进而引发振动问题。以螺杆压缩机消音器为例,如出口水平安装,可以选择弹簧支吊架来消除或减弱消音器自重因素的影响,在设计出口直连的管道时,由于消音器下方已设计安装有弹簧减振装置,设计减振措施时需要将压力脉动等影响因素考虑在内,可以选择部分管道进行动力学计算以确定气流通道对振动的影响因子^[6]。气流的不稳定不仅增加了机械部件的负担,还可能引发气体动力学的不良反馈,导致设备运行不稳定。

4 火炬气回收系统螺杆压缩机振动解决方案

4.1 优化气体流动设计与控制

为了避免气体动力学不稳定引起的振动,可以通过优化螺杆压缩机的气体流动路径与结构设计,减少气流中的湍流和波动。例如,改进进气和排气系统,减少气流阻力,并通过控制系统精确调节气体流量和压力,避免气流波动。目前已协调某高校专业人员对进气管道及内部气流体进行专业建模分析。

4.2 引入减振装置

在螺杆压缩机的结构中引入减振装置,如弹簧减振器或阻尼器,可以有效降低由于气流不稳定引发的振动。目前已对3套螺杆压缩机出口消声器下方减振弹簧组进行专业调整,同时,在3套螺杆压缩机出、入口管线下方均加设钢结构支撑,通过这些减振装置的作用,可

以将振动的能量有效地吸收和衰减,减少对设备的影响。

4.3 定期检查机械结构

定期检查螺杆压缩机的各个机械部件,特别是压缩机壳体、支撑结构等关键部件,确保它们的稳固性。对于容易松动的零部件,应加强螺栓的紧固,防止因松动而导致振动。

4.4 增加振动监测预警系统

在现有螺杆压缩机运行监测系统的基础上,增加安装振动监测系统,主要点位选择螺杆压缩机非驱动端阳转子轴承处、入口管道三通处等,可以实时监测振动水平。一旦振动超出正常范围,系统会自动发出警报,提醒操作人员及时采取措施,避免问题的进一步扩大,同时借助振动监测系统可以实时分析振动频谱,对设备进行更精确的诊断,提前预防故障的发生。

5 结束语

螺杆压缩机振动过大的问题往往是由多种因素综合作用引起的,通过对其原因的深入分析,可以得出一系列的解决方案。在螺杆压缩机运行过程中,由于气流流动的不稳定性,尤其在低负荷和高负荷状态下,可能引发振动问题,不仅影响设备的运行效率,还可能导致机械磨损、能效降低、噪声增加,甚至带来安全隐患。因此,通过优化压缩机设计、控制压缩比、引入减振装置以及安装实时监测系统等措施,可以有效缓解气流振动问题,提升螺杆压缩机的运行稳定性和使用寿命。未来的研究可以进一步深入探讨气体动力学的特性,并结合智能控制技术,实现螺杆压缩机的高效、稳定运行。通过科学合理的维护和改进,可以有效降低振动问题,提高设备的运行稳定性和使用寿命。未来的研究可以更加注重振动监测技术的应用,为螺杆压缩机的健康运行提供更加智能化的保障。

参考文献:

- [1] 刘宜鑫.火炬气回收螺杆式压缩机振动异常原因分析[J].设备管理与维修,2021(21):73-76.
- [2] 石峰.螺杆压缩机运行状态在线监控系统研究[D].济南:山东大学,2009.
- [3] 程前进.螺杆压缩机振动原因分析[J].石油化工设备技术,2003,24(02):22-23.
- [4] 吴霞俊,周明龙,孙时中,等.喷水双螺杆工艺气体压缩机振动特性实验研究[J].石油化工设计,2022(04):27-31.
- [5] 陈飞,吴玉庭,沈纪东,等.喷液对单螺杆压缩机性能影响的热力学分析[J].制冷与空调,2023(01):33-37.
- [6] 董良.螺杆式压缩机进出口管道柔性设计[J].炼油技术与工程,2022(10):42-46.