

CNG加气站压缩机故障分析与诊断

陈永军

新疆新捷燃气有限责任公司石河子分公司 新疆 石河子 832000

摘要: 本文聚焦CNG加气站压缩机。先阐述其工作原理与运行特性,指出工作压力跨度大、工况波动频繁等特点。接着分析常见故障类型及诱发原理,包括机械、密封和润滑系统故障。随后介绍传统经验、信号检测和智能诊断方法。最后提出优化策略,如构建一体化诊断体系、强化数据采集管理、完善诊断与运维协同机制,以提升故障诊断水平,降低故障发生率。

关键词: CNG加气站; 压缩机; 故障分析; 故障诊断

引言: CNG加气站压缩机作为核心设备,将低压天然气压缩为高压气体供车辆加气。其工作过程复杂,运行特性独特,这使得故障发生具有必然性与复杂性。常见故障涵盖机械部件、密封系统和润滑系统等方面,不同故障类型诱发原理各异。为准确诊断故障,传统经验、信号检测和智能诊断等方法各具特点。在此背景下,深入探讨压缩机故障诊断及优化策略,对保障加气站稳定运行、提升设备可靠性和安全性具有重要意义。

1 CNG 加气站压缩机工作原理与运行特性

CNG加气站压缩机作为核心设备,承担着将低压天然气转化为高压气体以供CNG车辆加气使用的关键任务。其工作原理基于机械做功,把压力通常在0.1 - 1.0MPa的低压天然气,压缩至20 - 25MPa的高压状态。完成压缩后的气体,还需经过干燥、过滤等一系列后续处理,最终储存于高压储气瓶组。(1)该压缩机的工作过程涵盖吸气、压缩、排气三个核心阶段。具体而言,依靠曲柄连杆机构带动活塞进行往复运动,进而实现气体的吸入与压缩,随后通过排气阀将高压气体排出。在结构形式上,CNG加气站常用压缩机主要分为活塞式、螺杆式等类型。(2)从运行特性方面分析,CNG加气站压缩机呈现出诸多显著特点。其一,工作压力跨度极大,从低压吸气到高压排气,压力差十分显著,这使得设备各部件需承受较大的压力负荷,对部件的强度和耐久性提出了严峻挑战。其二,运行工况波动频繁,由于加气车辆流量的不断变化,压缩机需要频繁启停或者调整负荷,这种频繁的操作易造成机械部件的疲劳损伤,缩短部件使用寿命。其三,介质特性复杂,天然气中可能含有微量水分、硫化氢、粉尘等杂质,这些杂质会对压缩机内部部件产生腐蚀、磨损等不良影响,影响设备的正常运行。其四,连续运行需求高,鉴于加气站24小时的运营模式,压缩机必须具备长时间连续运行的能力,这

无疑进一步加剧了部件的损耗,增加了故障发生的概率。这些运行特性不仅决定了CNG加气站压缩机故障发生的必然性,也使得故障呈现出复杂性,对故障分析与诊断工作提出了更高、更专业的要求^[1]。

2 CNG 加气站压缩机常见故障类型及诱发原理

2.1 机械部件故障

机械部件故障在CNG加气站压缩机故障中占据主导地位,主要涉及活塞、曲轴、连杆、阀门等核心运动部件,常见表现形式有部件磨损、变形以及断裂等。其诱发机理较为复杂。(1)长期高负荷运转致使疲劳损伤。压缩机运行时,活塞、连杆等部件持续进行往复运动,承受着周期性的机械应力。在长时间的运行过程中,金属材料会逐渐出现疲劳现象,微观结构发生改变,进而引发磨损、变形,严重时甚至导致断裂。(2)部件装配精度欠佳。在装配环节,若活塞与气缸间隙、曲轴与轴承配合间隙等关键参数不符合技术规范,在压缩机运行过程中,部件之间就会产生异常摩擦。这种异常摩擦会加速部件表面的磨损,降低部件的使用寿命。(3)杂质冲击与腐蚀。天然气中含有的粉尘、水分等杂质,一旦进入压缩机内部,会在部件运动过程中对其表面产生冲击磨损。同时,天然气中的硫化氢等腐蚀性成分,会与金属部件发生化学反应,破坏部件的结构完整性。(4)运行负荷波动过大。频繁的负荷调整会使部件承受的应力发生突变,加剧疲劳损伤的速度,增加故障发生的概率。

2.2 密封系统故障

密封系统作为保障CNG压缩机稳定运行的核心环节,肩负着气体密封和油密封的双重重要职责。一旦密封系统出现故障,主要会呈现出气体泄漏、润滑油泄漏等不良现象,严重影响压缩机的正常工作与安全性。其诱发机理涉及多个方面。(1)密封件老化与磨损是常见因素。在压缩机持续运行过程中,密封件,像密封圈、

密封垫等，长时间承受着高压、高温以及部件间摩擦的共同作用。这种恶劣的工作环境会使密封件逐渐老化、硬化，表面磨损加剧，进而导致其密封性能大幅下降。

(2) 密封面损伤也不容忽视。在装配环节，若操作不当出现磕碰，或者在运行过程中有杂质附着在密封面上，都可能使密封面出现划痕、凹陷等损伤，破坏了密封面的平整度与完整性，造成密封失效。(3) 压力波动会产生影响。压缩机在吸气、排气过程中，压力会发生突变，当这种压力超出密封系统设计的阈值时，就会引发密封失效。(4) 润滑油品质下降也是诱因之一。若润滑油出现变质、受到污染等情况，其润滑和密封辅助作用就会降低，加速密封件的磨损，最终诱发泄漏故障。

2.3 润滑系统故障

润滑系统在CNG压缩机运行中扮演着至关重要的角色，其核心功能是为压缩机的各个运动部件提供充足的润滑，以此降低部件间的摩擦损耗，同时兼具冷却部件以及清洁部件的作用。一旦润滑系统出现故障，通常表现为润滑油不足、润滑油变质以及油路堵塞等情况，这些状况会严重影响压缩机的正常运行与使用寿命。其诱发机理涵盖多个层面。(1) 润滑油补给不及时是常见原因。在压缩机长期运行过程中，若未能按照规定要求定期补充润滑油，或者油路存在不易察觉的隐性泄漏，就会致使润滑油液位逐渐降低，最终低于安全阈值，无法满足各部件的润滑需求。(2) 润滑油变质问题突出。压缩机运行产生的高温环境，加上天然气中混入的杂质和水分，会促使润滑油发生氧化、乳化、碳化等一系列变质反应，进而丧失其应有的润滑功能。(3) 油路堵塞不容忽视。润滑油中的杂质以及变质产生的物质，会逐渐沉积在油路管道、过滤器等关键部位，阻碍油路的正常流通，使得润滑油无法及时送达各部件。(4) 润滑系统部件故障，例如油泵失效、过滤器损坏等，也会致使润滑系统无法正常运转，引发润滑不足等故障^[2]。

3 CNG 加气站压缩机故障诊断方法与技术路径

3.1 传统经验诊断方法

传统经验诊断方法是基于运维人员实践经验的直观诊断方式，主要通过“看、听、摸、测”等手段获取设备运行状态信息，判断故障类型与位置。“看”即观察压缩机的运行状态，包括排气压力、温度、润滑油液位、是否存在泄漏等现象；“听”即聆听压缩机运行过程中的声音，正常运行时压缩机应发出均匀、平稳的声音，若出现异响（如撞击声、摩擦声、尖叫声），则表明存在异常故障；“摸”即触摸压缩机壳体、轴承等部位的温度，判断是否存在过热现象；“测”即通过简易

仪器测量关键参数，如润滑油粘度、排气温度等，辅助判断故障情况。该方法具有操作简便、响应迅速的优势，适用于简单故障的初步判断，但诊断精度依赖运维人员经验，主观性较强，难以应对复杂故障。

3.2 信号检测诊断方法

信号检测诊断方法是通过安装专业传感器采集压缩机运行过程中的各类信号，结合信号分析技术提取故障特征，实现故障的精准判断，是当前行业内应用较为广泛的诊断技术。常用的检测信号包括振动信号、温度信号、压力信号、油液信号等。在振动信号检测方面，通过在压缩机曲轴、轴承、活塞等关键部件安装振动传感器，采集振动信号，利用频谱分析、时域分析等技术，识别振动信号中的异常频率成分，判断部件的磨损、不平衡等故障；在温度信号检测方面，通过温度传感器实时监测压缩机排气温度、轴承温度、润滑油温度等关键参数，若温度超出正常范围，可判断对应部位存在故障（如润滑不足、密封失效等）；在压力信号检测方面，监测吸气压力、排气压力的波动情况，若压力波动异常，可能预示着阀门故障、进气不足等问题；在油液信号检测方面，通过分析润滑油中的金属颗粒含量、水分含量、粘度变化等指标，判断部件的磨损程度与润滑系统状态。

3.3 智能诊断方法

智能诊断方法是依托人工智能、大数据等先进技术发展起来的新型诊断方式，通过构建诊断模型实现故障的自动识别、定位与预警，具有诊断精度高、智能化程度高的优势，是未来故障诊断技术的发展方向。其核心流程包括数据采集、特征提取、模型训练与故障识别。首先，通过传感器网络全面采集压缩机运行过程中的多维度数据，构建故障数据库；其次，利用数据挖掘技术提取数据中的故障特征参数，实现数据的降维与优化；再次，基于机器学习算法（如支持向量机、神经网络、随机森林等）构建智能诊断模型，利用故障数据库对模型进行训练与优化；最后，将实时采集的运行数据输入训练好的模型，实现故障类型的自动识别与故障位置的精准定位，同时可根据数据变化趋势实现故障预警。智能诊断方法能够有效克服传统经验诊断的主观性与信号检测诊断的复杂性，大幅提升故障诊断的效率与准确性。

4 CNG 加气站压缩机故障诊断的优化策略

4.1 构建一体化诊断体系

为提升CNG加气站压缩机故障诊断的准确性与效率，需整合传统经验诊断、信号检测诊断与智能诊断三种方法，构建一体化故障诊断体系。(1) 传统经验诊断

凭借维修人员长期积累的实践经验,能快速对设备异常状况做出初步判断,可作为故障初步筛查的基础手段。当压缩机出现异常声响、振动等明显现象时,维修人员可依据经验迅速响应,缩小故障排查范围。(2)信号检测诊断借助先进的传感器与检测设备,采集压缩机的振动、温度、压力等信号,通过数据分析实现故障的精准定位与特征提取,是核心诊断手段。例如,利用振动传感器采集压缩机振动信号,分析其频谱特征,可判断是否存在轴承磨损、转子不平衡等故障。(3)智能诊断则依托人工智能算法与大数据技术,构建智能诊断模型,实现故障的自动识别与预警,作为进阶手段。(4)要建立各诊断方法间的协同机制,实现诊断数据共享与互补。如先通过传统经验诊断发现异常,再用信号检测诊断采集精准数据,最后由智能诊断模型深入分析故障根源,形成“初步筛查-精准检测-深度分析”的完整诊断流程,提升诊断体系整体可靠性。

4.2 强化诊断数据的采集与管理

在CNG加气站压缩机故障诊断工作中,数据作为核心基础,其采集与管理的强化是提升诊断精度的关键所在。(1)从数据采集环节来看,需优化传感器布局。压缩机结构复杂,各关键部件的运行状态对故障诊断至关重要。因此,要在曲轴、轴承、气缸、阀门以及润滑系统等关键部位全面部署各类传感器。这些传感器应具备高精度、高可靠性,能够实时、连续地采集振动、温度、压力、油液等多维度数据。通过这种全方位的数据采集方式,确保所获取的数据全面且具有时效性,能真实反映压缩机的实际运行状况。(2)在数据管理方面,要建立专业的诊断数据库。此外,还需加强数据质量控制,建立严格的数据筛选、清洗机制。通过设定合理的阈值和规则,剔除异常数据和无效数据,保障数据的准确性与可靠性。只有高质量的数据,才能为故障诊断模型的训练与优化提供坚实支撑,进而提高故障诊断的准确性和效率。

4.3 完善诊断与运维的协同机制

在CNG加气站压缩机的管理过程中,构建故障诊断与设备运维间的紧密协同机制,对于实现诊断结果的有效转化与应用至关重要。(1)要把故障诊断结果深度融入设备维护计划。依据诊断所明确的故障类型、严重程度等关键信息,量身定制针对性的维护方案。如此,既能避免因缺乏依据而进行的盲目维护,防止不必要的资源浪费,又能杜绝过度维护,延长设备使用寿命,降低运维成本。(2)建立完善的诊断结果反馈机制不可或缺。将维护过程中实际发现的故障情况与前期诊断结果进行细致对比分析,以此为依据优化诊断模型与诊断参数,不断提升诊断的精度与可靠性。(3)要高度重视运维人员的专业培训。通过系统培训,提升他们对诊断技术的应用能力,使其熟练掌握诊断设备的操作方法,准确解读诊断数据,并在实践中积累丰富的诊断经验,实现诊断与运维的良性互动。此外,借助诊断数据的长期积累与深入分析,总结故障发生的规律与趋势,提前制定预防性维护措施,推动维护模式从“事后维修”向“事前预警”“预防性维护”转变,有效降低故障发生概率。

结束语

综上所述,CNG加气站压缩机故障诊断是一项系统且复杂的工作。通过构建一体化诊断体系、强化数据采集管理以及完善诊断与运维协同机制等优化策略,可有效提升故障诊断的准确性与效率,实现故障的精准定位与提前预警。这不仅有助于降低设备故障发生率,减少运维成本,还能保障加气站的稳定运营。未来,随着技术的不断进步,故障诊断方法将更加智能化、精准化,为CNG加气站压缩机的可靠运行提供更有力的支持。

参考文献

- [1]吕学川.CNG加气站压缩机故障探讨[J].安全和环境,2021,21(09):32-35.
- [2]陈鹏,赵晓民.CNG加气站压缩机故障分析与诊断[J].设备管理与维修,2024,(02):177-179.