

FE1683 和 FE1694、压力调节阀 PCV1673 后送往火炬。

在开停车及异常情况下，一级密封气用 0.7MPa 的氮气，氮气经两个互为备用的过滤器过滤出杂质，然后通过增压泵升压后作为一级密封气分别进入压缩机两端的密封腔。

压缩机一级密封气设置压差 PDI1611A/B 低联锁（10kPa），当压差  $\leq 40\text{kPa}$  增压泵自启动。一级密封气设有电加热器，设定温度为 75℃。

二级密封气采用的是 0.7MPa 的氮气。氮气先进入互为备用的过滤器，过滤掉杂质后，分为两路：一路通过 PCV1621 将压力调节至 0.38~0.52MPa 后作为二级密封气；另一路通过 PDCV1652 调节压差  $> 0.02\text{MPa}$  作为隔离气。二级密封气主要是保证二级密封腔的压力大于火炬压力，保证从一级密封端面进入的少量一级密封气不能进入二级密封端面，该气体大部分与一级密封的泄漏气混合后排往火炬，少部分气体经密封端面泄露到二级密封排气腔，送至室外高点放空。

隔离气进入压缩机的高低压端隔离气腔，主要是保证二级密封端面不受轴承润滑油的污染。其中一小部分阻止二级密封泄漏气外溢，此部分气体和二级密封泄漏气混合后高点放空，另一部分通过轴承润滑油油烟放空口排放。

干气密封的优势在于其无接触、低摩擦、低泄漏、长寿命等特点。与传统的机械密封相比，干气密封不需要润滑油，避免了油污染和油泄漏问题；与油密封相比，干气密封的泄漏量更小，能够更好地满足环保要求<sup>[1]</sup>。然而，干气密封系统对气体的清洁度、压力、温度等参数要求较高，任何参数的异常都可能导致密封失效，因此维护需要严格的技术。

### 3 干气密封的常见故障分析

在离心式压缩机的运行过程中，干气密封系统可能出现的故障主要包括气膜失效、密封端面磨损、气体泄漏、密封腔体堵塞等。这些故障的发生往往与操作不当、维护不及时、环境条件变化等因素有关。

#### 3.1 气膜失效

气膜是干气密封的核心，其稳定性直接关系到密封效果。气膜失效通常是由于气体压力不足、气体中含有杂质或密封端面不平整等原因引起的。比如，气体中含有轻烃物质，当其在液化或者冷却之后凝固的情况下，就会污染气膜而导致其失效。密封系统安装过程中，由于没有安装到位，造成气体压力不足，或者安装的零件接触到油而被污染，或者润滑油进入到密封面，导致密封面被污染。气膜失效会导致动环与静环直接接触，产生摩擦和磨损，进而导致密封失效。

#### 3.2 密封端面磨损

密封端面的磨损通常是由于气膜失效或气体中含有固体颗粒引起的。磨损会导致密封端面的平整度下降，进而影响气膜的形成和稳定性。严重的磨损甚至会导致密封端面破

裂，造成气体泄漏。出现这种现象的主要原因是平衡管不能发挥效能，或者火炬压力不稳定，导致平衡管压力严重不足，低于火炬系统压力，不能正常打开密封面，在没有气膜形成的情况下，就会导致密封面直接接触而出现干磨现象，因此导致断面受损，密封失效。

#### 3.3 气体泄漏

气体泄漏是干气密封系统最常见的故障之一。气体泄露的主要原因是密封稳定性被破坏。当压缩机处于运行状态的时候出现喘振现象，出现周期性振荡，造成工艺气流量与压力出现大幅度波动。这种情况下，密封系统不能保持稳定性，密封失效而导致气体泄露<sup>[3]</sup>。此外，密封端面磨损、密封腔体堵塞或密封件老化等问题也会导致气体泄露。气体泄漏不仅会影响压缩机的性能，还可能对环境造成污染。

#### 3.4 密封腔体堵塞

密封腔体堵塞通常是由于气体中含有杂质或密封腔体内部积垢引起的。工艺介质中夹带着非常微细的固体粉尘或者已经结焦的碳粒，进入到密封腔中沉淀而形成积垢，密封腔中堵塞造成气体流动不畅，影响气膜的形成和稳定性，进而导致密封失效。如果密封件已经破损，由于气缸磨损非常严重、气缸垫被破坏、活塞环不完整或者使用的润滑油存在质量问题，无法正常密封，就会造成密封腔体被堵塞<sup>[4]</sup>。此外，离心式压缩机的机组产生振动的时候处于不平衡状态或者基础设计缺乏完善性，压缩机装配存在很大误差，就会产生振动问题或者管线振动，因此造成密封腔体堵塞。

## 4 干气密封的技术维护策略

压缩机干气密封的运行维护是确保设备长期稳定运行的关键环节。干气密封作为一种高效、可靠的密封方式，广泛应用于各类压缩机中，但其运行过程中仍需要定期维护和保养。为了确保干气密封系统的长期稳定运行，必须制定科学的技术维护策略，以确保其性能和使用寿命。以下是一些关键的技术维护措施：

#### 4.1 监控气体参数

以离心式合成气压缩机为例，其主要的功能是处理合成气（氢气、一氧化碳、二氧化碳混合气体）。（表 1：合成气压缩机技术参数）

表 1 合成气压缩机技术参数

| 名称   | 合成气压缩机         | 介质   | 富气              |
|------|----------------|------|-----------------|
| 设备位号 | 2510-K-101/201 | 入口压力 | 5.36/5.33MPa(G) |
| 设备型号 | D18R4B         | 出口压力 | 7.39/8.0MPa(G)  |
| 轴功率  | 23118kW        | 操作温度 | 54.6/77.7℃      |
| 转速   | 5157-7735r/min | 额定流量 | 586.1/671t/h    |

该压缩机由膜片联轴器联接原动机上，在公共钢底座上安装好，机组运行过程中，由润滑油站供油，压缩机的高低压缸所采用的均为水平剖分壳体。

干气密封系统对气体的压力、温度、清洁度等参数要

求较高,因此需要实时监控这些参数,确保其在设计范围内。对于气体压力不足或温度过高的情况,应及时调整操作参数或采取相应的措施。合成气压缩机干气密封系统的具体参数要求如下:

其一,压力要求。一级密封气设置压差 PDI1611A/B 低联锁(10kPa),当压差 $\leq 40\text{kPa}$ 增压泵自启动。二级密封气采用的是0.7MPa的氮气。氮气先进入互为备用的过滤器,过滤掉杂质后,分为两路:一路通过PCV1621将压力调节至0.38~0.52MPa后作为二级密封气;另一路通过PDCV1652调节压差 $> 0.02\text{MPa}$ 作为隔离气。

其二,温度要求。密封气多进入到压缩机介质中,如果进入后续系统的是氮气,产品质量必然受到影响。另外,操作温度低,密封气可能带液,干气密封受到影响。为此,一级密封气设有电加热器,设定温度为75℃。

其三,清洁度要求。定期检查干气密封系统的各个部件,特别是密封端面和密封腔体,确保其清洁无杂质。对于气体中含有固体颗粒的工况,应安装过滤器,防止杂质进入密封系统。比如,主密封气管路中,氮气清洁处理中使用过滤器,使得洁净度进一步提高,当达到 $1\mu\text{m}$ 之后可以使用。隔离气回路中,使用过滤器洁净处理,清洁度达到 $3\mu\text{m}$ 之后可以使用。

#### 4.2 定期更换密封件

定期更换密封件是干气密封维护的核心内容之一。密封件作为干气密封系统的关键部件,其性能直接影响密封效果。干气密封系统中的密封件(如动环、静环、弹簧等)会随着使用时间的增加而老化,主要表现为密封件逐渐磨损,导致密封性能下降,甚至可能引发泄漏等严重问题,因此需要定期更换。更换时应选择符合设计要求的密封件,并严格按照操作规程进行安装<sup>[6]</sup>。具体操作中,必须根据设备的使用情况和制造商的建议,制定合理的密封件更换计划。通常情况下,密封件的更换周期应根据运行时间、工作环境以及密封件的材质等因素综合考虑。定期更换密封件不仅可以有效预防泄漏事故,还能延长干气密封系统的使用寿命,降低设备维护成本。

#### 4.3 故障诊断与处理

故障诊断与处理是干气密封运行维护的另一重要环节。在实际运行过程中,干气密封系统可能会因各种原因出现故障,如密封面磨损、气体泄漏、温度异常等。为了及时发现并解决这些问题,操作人员需要掌握基本的故障诊断技能。例如,通过监测密封系统的压力、温度和振动等参数,可以

初步判断是否存在异常。一旦发现故障,应立即采取相应的处理措施,如调整密封间隙、更换损坏部件或清理堵塞的管路等。在干气密封系统运行过程中,应建立故障诊断机制并不断完善,及时发现和处理故障<sup>[7]</sup>。对于气膜失效、密封端面磨损、气体泄漏等常见故障,应制定相应的处理方案,确保故障能够及时得到解决。此外,还要建立完善的故障记录和分析机制,有助于总结经验教训,避免类似问题再次发生。

#### 4.4 培训与操作规范

人员培训是确保干气密封系统正常运行的基础。干气密封系统的操作和维护需要具备一定的专业知识和技能,因此,定期对操作人员进行培训至关重要,确保其掌握干气密封系统的工作原理、常见故障的诊断与处理方法、密封件的更换流程以及安全操作规程等。操作人员通过系统培训,能够更好地理解干气密封系统的运行特点,提高故障处理能力,从而减少因操作不当导致的设备损坏或安全事故。同时,应制定严格的操作规程,避免因操作不当导致的故障。

### 5 结语

通过研究明确,离心式压缩机干气密封系统的稳定运行,对于保障压缩机的整体性能和安全性至关重要。通过深入了解干气密封的工作原理,分析常见故障的原因,并制定科学的技术维护策略,可以有效延长干气密封系统的使用寿命,减少故障发生率,提高压缩机的运行效率。在实际操作中,应结合具体工况,灵活运用各项维护措施,确保干气密封系统始终处于最佳运行状态。

#### 参考文献

- [1] 白兰坤,张琴,邱丹.离心式压缩机干气密封控制系统的优化设计及应用[J].液压气动与密封,2024,044(11):29-34.
- [2] 吴夏巍.离心式压缩机干气密封故障分析及优化[J].中国石油和化工标准与质量,2024,044(11):38-40.
- [3] 李享,孙海洋,艾子迪.离心式压缩机干气密封工作原理与典型故障探析[J].工程技术,2023,000(1):20-22.
- [4] 张宝臣.天然气离心式压缩机干气密封失效的原因与解决策略探究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,000(22):58-59.
- [5] 韩红亮.离心压缩机干气密封失效原因分析及运行维护[J].化学工程与装备,2024,000(2):61-62.
- [6] 曲鑫.D10R9B型离心压缩机干气密封放空气回收与治理[J].中国设备工程,2024(S02):360-363.
- [7] 赵辉,刘泽军,徐军,等.离心压缩机干气密封失效原因分析及运行维护管理[J].设备管理与维修,2023,000(10):155-157.

# Application of mechatronics technology in mechanical engineering

Chun Lu Lu Yu

Baowu Group Echeng Iron and Steel Co., Ltd., Ezhou, Hubei, 436002, China

## Abstract

Mechatronics technology has been widely used in the field of mechanical engineering. This technology integrates mechanical and electronic technology to enhance the automation and intelligence level of mechanical engineering. In automated production lines, CNC machine tools, industrial robots and other aspects, mechatronics technology to achieve efficient and accurate processing and manufacturing. At the same time, it also plays an important role in energy saving systems and fault diagnosis, helping to reduce energy consumption and improve equipment stability and reliability. The application of mechatronics technology not only promotes the technological progress of mechanical engineering, but also promotes industrial upgrading and economic development, and is one of the indispensable key technologies of modern manufacturing industry.

## Keywords

Mechatronics; Mechanical Engineering; Production efficiency

## 机电一体化技术在机械工程上的应用

卢春 余露

宝武集团鄂城钢铁有限公司, 中国·湖北鄂州 436002

## 摘要

机电一体化技术在机械工程领域展现出广泛应用。该技术融合了机械与电子技术,提升了机械工程的自动化与智能化水平。在自动化生产线、数控机床、工业机器人等方面,机电一体化技术实现了高效、精准的加工与制造。同时,它也在节能系统和故障诊断中发挥着重要作用,有助于降低能耗、提高设备稳定性和可靠性。机电一体化技术的应用,不仅推动了机械工程的技术进步,还促进了产业升级和经济发展,是现代制造业不可或缺的关键技术之一。

## 关键词

机电一体化; 机械工程; 生产效率

## 1 引言

机械工程是国民经济的重要支柱,其发展水平直接关系到国家的工业实力和竞争力。传统的机械工程主要依赖人工操作和简单的机械设备,存在效率低下、能耗高、安全性差等问题。随着计算机、电子、传感器等技术的快速发展,机电一体化技术应运而生,为机械工程的发展带来了新的契机。

## 2 机电一体化技术概述

机电一体化技术,正式名称为机械电子工程技术,是一项综合性的工程技术,它将机械学、电子学、计算机科学、传感器技术以及信息技术等多项高新技术进行了深度整合与应用。这种技术不仅仅是一种简单的技术叠加,而是将不同领域的技术有机融合,以实现机械工程系统的高度自动化、智能化与高效化。

机电一体化技术通过利用精密的机械结构设计、先进的电子控制技术、强大的计算机处理能力、高精度的传感器监测以及可靠的信息传输手段,将传统的机械设备转化为一种高度集成、智能化的系统。这一系统能够在复杂的工业环境中自主运行,实时监测环境变化,自主调整工作参数,从而达到提高生产效率、降低成本、提升产品质量的目的。从特点上来看,机电一体化技术具有显著的高效率、高精度、高可靠性、低能耗以及易于维护等优势。通过实现机械系统的自动化与智能化,可以显著提高生产效率,缩短生产周期,减少人力成本。同时,利用先进的传感器与控制系统,可以实现设备的精确控制,提升加工精度与产品质量。此外,机电一体化技术还能够显著降低设备的能耗,符合现代工业对绿色、环保、可持续发展的要求。

## 3 机电一体化技术在机械工程中的具体应用

### 3.1 自动化生产线

自动化生产线中机电一体化技术的运用,标志着制造

【作者简介】卢春,男,中国湖北鄂州人,工程师,从事设备管理研究。