

Discussion on the Solution of High Metal Particle Content of Lubricating Oil of Small Air Separation Nitrogen Press

Guanhua Hu Ping Chen Lehai Zhou

Equipment Operation and Maintenance Center, Yunnan Shuifu Yuntianhua Co., Ltd., Shuifu, Yunnan, 657800, China

Abstract

The nitrogen compressor is one of the very important core equipment in the small air separation oxygen and nitrogen production system. It is a piston type compressor that compresses low-pressure nitrogen to 0.8MPa through two-stage compression, supplying the entire company's system. In recent years, frequent failures of the nitrogen compressor have seriously affected the operation of the device. In order to reduce the metal particle content in the lubricating oil of the small air separation reciprocating nitrogen compressor, the material and structure of the compressor thrust bearing have been improved, as well as the structural modification of the oil filter. The problem of unit failure caused by high metal particle content in the lubricating oil has been completely eliminated, resulting in accident shutdown and ensuring the long-term operation of the device. This method can have reference value and significance for the application of similar compressors.

Keywords

lubricating oil; metal particles; thrust bearings; brass; bronze; brinell hardness

浅谈小空分氮压机润滑油金属颗粒含量高的解决方法

胡关华 陈平 周乐海

云南水富云天化有限公司装备运维中心, 中国·云南 水富 657800

摘要

氮气压缩机是小空分制氧氮系统非常重要的核心设备之一,是将低压氮气通过2级压缩至0.8MPa的活塞式压缩机,供给全公司系统。近年来该氮气压缩机故障频发,严重影响装置运行,为了降低小空分往复式氮压机润滑油金属颗粒含量,通过对压缩机推力轴承的材质、结构进行改进,以及油过滤器的结构改造,彻底消除了因润滑油金属颗粒含量高的问题而导致机组故障,造成事故停车,保障了装置长周期运行,本方法可对同类型压缩机的应用具有参考价值和借鉴意义。

关键词

润滑油; 金属颗粒; 推力轴承; 黄铜; 青铜; 布氏硬度

1 引言

小空分 1114JB 氮压机安装于 20 世纪 70 年代,是一台将低压氮气通过 2 级压缩至 0.8MPa 的活塞式压缩机,供给全公司系统,如果没有氮气的供应全公司装置将停运。2023 年 3 月 1 日该压缩机运行后出现润滑油温度超过标准值 38℃,达到了 50℃,润滑油内机械杂质含量超过标准值 0.005%,达到 0.13%,给设备安稳运行造成严重隐患^[1]。

2 设备概况

KDON-3000/6000 型制氧氮系统,主要为年产 45 万吨合成氨 80 万吨尿素装置提供日常氮气和氧气消耗。氮气压缩机是其相当重要的三大核心设备之一,其结构为 ZW-54/16 型往复式活塞压缩机,运行条件两开一备,电机驱动,

曲轴径向轴承采用薄壁瓦结构、推力轴承使用两半式推力轴承,具体参数如表 1 所示。

3 问题描述

2023 年 3 月 1 日该压缩机运行后出现润滑油温度超过标准值 38℃,达到了 50℃,润滑油内机械杂质含量超过标准值 0.005%,达到 0.13%,给装置安稳运行造成严重隐患。

通过对 GB/T 511—2010 石油和石油产品及添加剂机械杂质测定法进行查阅,称取一定量的试样,溶于所用的溶剂中,用已恒重的滤纸或微孔玻璃过滤器过滤,被留在滤纸或微孔玻璃过滤器上的杂质即为机械杂质。以及 GB 11118.1—2011 液压油(L-HL、L-HM、L-HV、L-HS、L-HG)中华人民共和国国家标准。机械杂质的含量在 0.005%(质量分数)(包括 0.005%)以下时,则可认为无机械杂质。所以曲轴箱润滑油的金属颗粒含量的最好效果是在 0.005%(质量分数)内^[2]。

【作者简介】胡关华(1986-),男,中国四川叙永人,高级技师,从事旋转设备的问题诊断研究。

表 1 主要性能参数

| 压缩机主要性能参数 | | |
|--------------------------|---------------------|-------------|
| 名称 | 一级 | 二级 |
| 介质 / (m ³ /h) | 氮气 | |
| 吸气压力 /MPa | 0.005 | 0.24 ± 0.05 |
| 排气压力 /MPa | 0.24 ± 0.05 | 0.8 ± 0.05 |
| 进气温度 /°C | 25 | 40 |
| 排气温度 /°C | 冷却前 ≤ 160; 冷却后 ≤ 40 | |
| 机身内油温 /°C | 27°C ~35°C | |
| 润滑油压 /MPa | 0.2~0.3 | |
| 行程 /mm | 240 | |
| 转速 / (r/min) | 495 | |
| 缸径 /mm | 一级 | ∅460mm × 2 |
| | 二级 | ∅360 |
| 轴功率 /kW | 440 | |
| 耗水量 / (t/h) | 75 | |
| 配套电机 | YKK560-12 型异步电动机 | |
| 主机重量 /kg | 14500 | |
| 机组总重量 /kg | 30000 | |
| 主机外形尺寸 /cm | 346 × 132 × 325 | |
| 机组占地面积长 × 宽 /m | 8 × 6.2 | |

4 详细的原因分析

针对曲轴箱中润滑油金属颗粒含量高的问题，我们展开了头脑风暴法进行原因分析，绘制了详细的系统图，如图 1 所示。

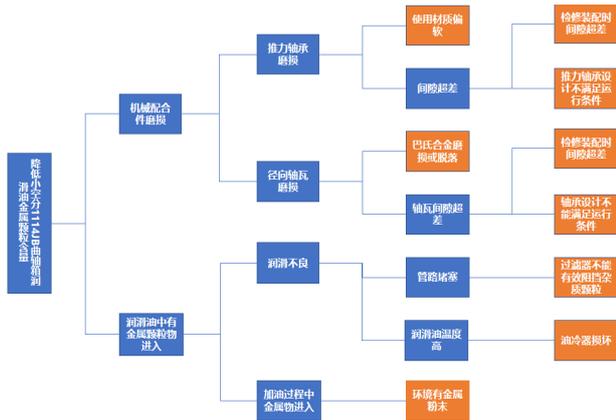


图 1 系统图

从上面的系统图统计看出，影响曲轴箱润滑油金属颗粒含量高可能的因素有 9 条，分别是：①推力轴承材质偏软；②推力轴承装配间隙超差；③推力轴承设计不满足运行条件；④径向轴承巴氏合金磨损或脱落；⑤径向轴承装配间隙超差；⑥径向轴承设计不满足运行条件；⑦油过滤器不能有效阻挡杂质颗粒；⑧油冷器损坏；⑨环境有金属粉末。

①推力轴承原因分析。对以上所有因素进行逐一确认：2023 年 5 月 15 日对压缩机停机检查，复测推力间隙为 1.45mm，超过安装时的 0.25mm，拆开后发现推力轴承严重磨损，磨损

深度已达到 1.2mm，如图 2 所示，查验推力轴承材质为黄铜，对损坏的推力轴承材质检测，推力轴承布氏硬度为：100.75 (N/mm²)，不符合机械设计手册滑动轴承中，推力轴承布氏硬度标准：HB (Brinell-hardness) (HBS) 150~180 (N/mm²)。通过研究压缩机在运行过程中轴向力是不变的，增大受力面积可有效降低作用在推力轴承上的压强。我们对现场推力轴承进行测量，推力轴承接触位置有 6mm 倒角，接触尺寸为 9mm。推力轴承有足够空间增大受力面积^[3]。②径向轴承原因排查。检查径向轴承，轴承间隙为 0.28mm，在标准 0.20~0.30mm 范围内，并且轴承完好，无缺陷。③其他转动部件及环境因素的原因排查。检查其他转动部件，均无间隙超差和磨损现象。对现场环境和曲轴箱盖进行了检查均无金属粉末，且油箱盖板密封完好，外界粉尘无法进入油箱内^[4]。④油冷器原因排查。拆卸检查油冷器，并对油冷器闭压试验，实验压力为 0.5MPa，实验结果，油冷器完好，无泄漏。⑤过滤器原因排查。拆卸油过滤器检查，通过对过滤器网底部，粗网环侧的堆积金属颗粒和重量用散点图进行分析，通过对比发现，有金属杂质漏过滤网侧和低部进入油出口，没达到过滤效果，不合格，如图 3 所示。⑥总结。根据以上排查，确定为：推力轴承材质硬度达标；推力轴承设计不满足运行条件；油过滤器不能有效阻挡杂质颗粒。

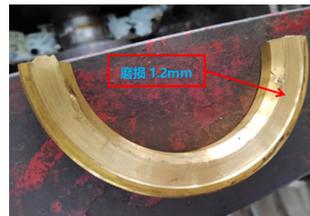


图 2 推力轴承磨损严重

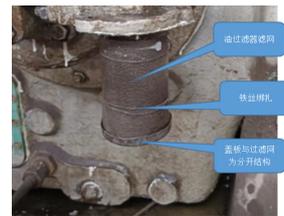


图 3 现场有过滤装置

5 解决方法

5.1 优化推力轴承材质，增强耐磨性

针对黄铜材质硬度不达标问题，我们通过参照机械设计手册滑动轴承，选择布氏硬度为 140~190 (N/mm²) 的青铜材料作为推力轴承，如图 4 所示。

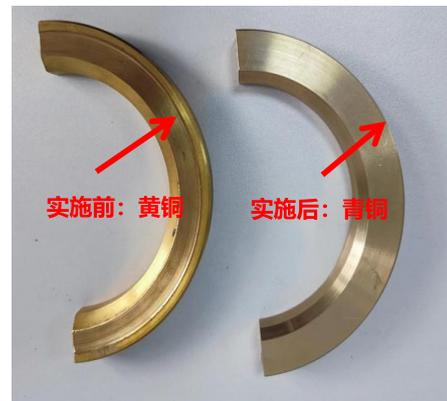


图 4 铜环

5.2 增大推力轴承受力面积，增强轴系稳定

在现场我们进一步的检查研究，测量发现在不影响转动部件干扰的情况，可增大推力轴承的受力面尺寸 2mm，可让铜环推力轴承受到的单位面积轴向推力减小。

推力轴承受力面积： $S=S_1-S_2$ 。

S_1 ：接触面外环圆面积。

$$\begin{aligned} S_1 &= \pi r_1^2 \\ &= 3.14 \times 63^2 \\ &= 12462.66 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

S_2 ：接触面内环圆面积。

$$\begin{aligned} S_2 &= \pi r_2^2 \\ &= 3.14 \times 55^2 \\ &= 9498.5 \text{mm}^2 \\ S &= S_1 - S_2 \\ &= 12462.66 - 9498.5 \\ &= 2964.16 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

计算增大 2mm 的铜环面积： $S \Delta$ 。

$$\begin{aligned} S \Delta &= S + S_2 - \pi r_3^2 \\ &= 2964.16 + 9498.5 - 3.14 \times 54^2 \\ &= 3306.42 \text{mm}^2 \\ P &= F/S \end{aligned}$$

其中，P 为压强；F 为转子推力；S 为推力轴承受力面积。

转子推力 F 不变，受力面积从 2964.16mm^2 增大到 3306.42mm^2 ，则：

$$\begin{aligned} P &= \frac{F}{S} = \frac{F}{2964.16} \rightarrow \frac{F}{3306.42} \\ \frac{(3306.42 - 2964.16)}{3306.42} &= 0.103 \end{aligned}$$

即铜环推力轴承受到的单位面积轴向推力减小了 10.3%，从而防止止推铜环磨损，下面是改造前后的对比图，如图 5 所示。

5.3 选择新型式的过滤器，有效过滤杂质

由于原有铁丝捆扎的过滤网，杂质会通过网侧和低部进入油出口。在流通过滤目数不变的前提下重新设计过滤器，通过选择，我们选择 $\phi 60 \text{mm} \times \phi 140 \text{mm}$ ，304 不锈钢过滤器 80 目折波滤筒。折波滤筒包括圆形折波段、圆形收紧段，圆形收紧段的外侧焊接有同轴线的收紧环，收紧环远离圆形收紧段的一端与端盖沿周向焊接相连，这样能有效阻挡杂质^[5]。

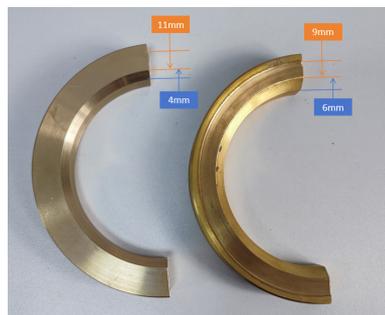


图 5 对比图

6 效果检测

2023 年 6 月 15 日停机更换重新设计的推力轴承及过滤器，并运行 168 小时进行检测。通过现场检测推力轴承厚度为 16.11mm，推力间隙 0.31mm，与初始安装尺寸完全符合，青铜材质的铜环受力较好，并无磨损，轴颈也无损伤，达到了检修维护手册标准。

运行期间对曲轴箱内的润滑油进行采集数据分析，润滑油金属颗粒含量达到了标准值 0.005%，各机械部位运行良好，消除了设备运行安全隐患，让该设备能长周期运行，给整个装置的长周期运行打下了坚实的基础，我们的公关达到了目标。

7 结语

通过对铜环推力轴承的重新优化设计和材质改进，以及过滤器的改进，对改进后效果检查，从检查结果可以看出，润滑油的机械杂质含量达标，止推推力轴承运行 24 小时后无磨损，各机械部位运行良好，彻底消除了设备运行隐患，让该设备能长周期运行，给整个装置的长周期运行打下了坚实的基础。本次的技术方法对同类型压缩机的应用具有参考价值和借鉴意义。

参考文献

- [1] 成大先.机械设计手册 第六版[M].北京:化学工业出版社,2016.
- [2] 秦大同.现代机械设计手册 单行版[M].北京:化学工业出版社,1993.
- [3] 《机械设计手册》编委会.机械设计手册:滑动轴承[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [4] 石油和石油产品及添加剂机械杂质测定法[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2010.
- [5] 液压油(L-HL、L-HM、L-HV、L-HS、L-HG)[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2011.