

Application of refrigeration compressor in coal chemical process

Xiaoming Guo

Qinglun Environmental Technology Co., Ltd., Yantai, Shandong, 264000, China

Abstract

In today's coal chemical industry, refrigeration compressors play a crucial role. They ensure effective temperature control throughout the system's process and also impact the system's stable operation and energy consumption. With the widespread promotion of energy conservation and emission reduction, and the increasingly stringent environmental standards, refrigeration compressors, as a key component in the coal chemical industry, are essential for their environmental protection, efficiency, and stable operation. These factors not only affect the overall efficiency of the coal chemical process but also play a vital role in promoting the

Keywords

refrigeration compressor; coal chemical process; application; key points

制冷压缩机在煤化工工艺中的应用

宫晓明

冰轮环境技术股份有限公司, 中国·山东 烟台 264000

摘要

在当今的煤化工领域, 制冷压缩机起着举足轻重的作用, 它能够有效保证整个系统工艺过程中的温度控制, 同时也会对系统的稳定运行与能耗构成影响。现阶段在随着节能减排广泛推行以及环保标准要求越来越严的情况下, 制冷压缩机作为煤化工行业中一个重要设备, 其环保、高效与稳定运行不仅关乎着煤化工工艺整体效率, 并且对于推动行业可持续发展具有重要意义。基于此, 文章围绕制冷压缩机在煤化工工艺的应用要点展开探究, 希望可以给煤化工产业的技术进步与节能环保有所帮助。

关键词

制冷压缩机; 煤化工工艺; 应用; 要点

1 引言

煤化工工艺中, 在煤的气化、液化、合成、副产物回收等过程中均会有大量的热量交换和能量传递发生。制冷压缩机就是在这个过程中起着至关重要的热工调节作用, 比如在低温分离、冷凝回收以及中间产品精制等环节均发挥着重要价值。而随着我国煤化工工艺朝大型化、精细化的方向发展, 这就要求制冷压缩机的稳定性、效率与适配能力等方面性能提出了更高的要求。

2 制冷压缩机概述

制冷压缩机是煤化工冷却系统的主体设备, 利用压缩制冷剂气体将制冷剂从低压蒸汽变为高压气态, 在制冷系统中形成循环所需的压差。煤化工常用的压缩机主要有往复

式、螺杆式和离心式, 以螺杆式压缩机为代表的螺杆式压缩机凭借其连续运转平稳, 体积小, 维护频次低等特点在煤化工行业得到广泛应用^[1]。而一台完整的压缩机主要包括驱动电机、压缩腔、润滑系统、冷却系统、进排气系统以及控制单元等, 其工作过程包括吸气、压缩以及排气3个部分。其中, 压缩过程: 压缩过程主要是利用活塞在压缩机结构内进行从下至上的运动, 在活塞运动的过程中, 吸气阀以及排气阀均是关闭的状态, 保证压缩机内的气体能够充分被压缩。当气体压缩到一定体积之后就会引导气缸的容积也在不断变小, 逐步影响压缩机内部的压力、温度的变化, 最终气缸内的气体压力将会与排气压力相对等。排气过程: 排气过程是衔接在压缩过程之后的, 活塞仍然需要继续工作, 通过活塞运动将压缩机内的气体压力增大到大于排气压力, 当压缩机内的气体压力超过排气压力后, 排气阀就会自动开启, 压缩机内的气体就会被活塞推送到排气管进行排气, 这一个过程一直维持到活塞的运动到最高点。在排气阶段, 压缩机内的排气阀中的弹簧片会跟着排气阀片进行一次重力作用, 弹片与排

【作者简介】宫晓明(1982-), 中国山东烟台人, 本科, 工程师, 从事构建工业用安全、稳定、高效的低温环境应用系统方向研究。

气阀两者在对对方相互作用重力时就会进行排气，当压缩机内的气体排送完毕之后，排气阀自动结束工作。

在煤化工领域中，一般制冷压缩机选型根据工艺负荷大小、制冷能力、气体种类以及温区布局等诸多因素来进行合理搭配，并根据工况条件来选择单级压缩还是多级压缩，以满足高压差、大通气量的要求。

3 制冷压缩机在煤化工工艺中的应用要点

3.1 压缩机选型与系统匹配设计

关于煤化工生产工艺流程，制冷压缩机选型要结合装置冷负荷峰值、介质热物性参数、工艺温区分布、运行周期稳定性进行全过程耦合计算分析。如在以煤制甲醇为代表的典型装置应用中，混合气体中 H_2 、 CO 含量较高，应当重点考虑它们的低分子量、大扩散系数对于密封系统造成的泄漏风险，以及保证制冷压缩机润滑油系统对于 CO_2 及杂质的抗腐蚀和化学相容性能，常用的润滑剂为高粘度矿物油或者合成酯类润滑油，降低化学降解风险^[2]。机型上应选用中压工况下容积效率较高、配备有内置油气分离器和三级气液分离器、有效避免含液运行以及转子组运转受到杂质质量大干扰的螺杆压缩机为主，配合使用高效过滤网作为机组的吸气端过滤。除了机组选型需要满足上述要求外，系统匹配设计要点在于以下几方面：制冷压缩机所涉及的整个工艺管道流程中，应当对工艺介质的温度、压力、焓变值、流量、含水量等因素进行全面跟踪，并将这些参数代入压缩机选型匹配计算模型来计算压缩比与能量平衡方程，确保它们处于设计允许范围内，以避免出口超压导致电机过载和轴封推力失衡现象产生；当制冷压缩机发生变负荷运行情况时，可以在系统中安装变频器和联动电磁阀组，调整能量为阶梯调节状态，以降低高频启停带来的机械疲劳；考虑外界环境温差对冷凝器效率的影响，应将冷凝回路设置成自动旁通系统和变频风机加风阀联控等配置形式，根据冷凝压力的变化自适应调节散热的能力，以满足冷凝系统面对不同季节热工条件下的稳定换热需求，实现等效换热稳定性。

3.2 蒸发温度控制

制冷压缩机是煤化工生产冷却系统的主体设备，蒸发温度的控制要符合工艺参数的要求，这样多组分物料才能正常冷凝和分离。对于煤焦油加氢、粗苯精制来说，控制好蒸发器出口温度在组分凝点以下 $3^{\circ}C \sim 5^{\circ}C$ （一般定为 $-20^{\circ}C \sim 25^{\circ}C$ ），如此就能较好地保证该组分的收率，达到理想的效果。煤化工实际生产中，制冷压缩机吸气端连接高精度压力变送器将吸气压力输入至 PLC（或 /DCS）系统中 PID 控制模块，实现压缩机频率或加载比例的闭环控制，达到蒸发压力及相应的温度的精确控制^[3]。同时装置上安装电子膨胀阀，并根据实时过热度反馈，将阀门开度调整到合适值，使蒸发器内液位保持正常，避免出现干蒸发或者液击现象。另外，提高蒸发器热交换效率可定期开展除垢和疏通

工作。如使用列管或板式换热器，则要加强其水侧和冷媒侧流体通道清洁工作，以免因为污垢热阻导致局部蒸发温度过高或者过低。同时可根据工况的需要设置蒸发温度在线监测模块，将冷媒质量流量计、热电偶阵列、制冷机进出口管道温度进行采样并将数据接入数据采集平台中，以此能根据不同的工况调节不同单元内部的进料量及调整压缩机的加载量。最后，对于外界温度变动大且变化幅度频繁的区域，可以在制冷压缩机控制系统中设置利用气象数据的前馈补偿算法自动对目标吸气压力设定值进行修正，以提高系统突发扰动的响应速度和温度场的稳定性。

3.3 润滑系统管理与密封结构优化

煤化工工艺中制冷压缩机的运行要求润滑系统管理和密封结构充分考虑高温、高压和腐蚀性等工况条件的影响。采用 PAO 基础油或酯类合成冷冻油作为制冷压缩机的润滑油，一方面具备高闪点、低挥发性和优良的氧化安定性，另一方面则满足等级要求的背景下用于压缩机主轴承和齿轮副润滑。系统设置板式或壳管式油冷却器，利用旁通控制阀来精准地调整油温至 $40^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$ 左右；油路循环需要集成磁式分离器和 $\beta \geq 200$ 的多级精密滤芯的组合，安装在接近回油口及主供油路上，实现对油路颗粒物的高效捕获和抑制磨损造成的二次污染。在针对制冷压缩机高频次启动以及重负载频繁变动工况的工作条件下，考虑加装油位自动调节装置以及双冗余油泵切换模块，从而进一步保证润滑系统的连续供油稳定运行。制冷压缩机密封结构方面来说，采取碳化硅（或是碳化钨）材质等高强度硬质材料进行双端面机械密封设计，并向密封腔注入氮气或氦气，依靠气体的屏蔽作用将煤化工介质中的 SO_x 、 NH_3 和粉尘杂质等堵截在外。密封腔的压力值要比介质侧压力高出 $0.2 \sim 0.3 MPa$ ，依靠缓冲罐以及背压调节阀保持一定的压差。为应对热胀冷缩或者轴向窜动等问题，可以考虑在制冷压缩机内部加装具有弹性自我调节能力的波纹管平衡结构，从而规避出现端面干摩擦或者是不均匀磨损的情况^[4]。最后，在制冷压缩机正常运行中应用油液在线粒径监测系统和密封泄漏实时检测装置，借助于日常的数据采集、记录以及趋势分析对制冷压缩机润滑油和密封更换周期作出预判性维护，预防突发故障地发生。

3.4 冷凝器效率提升与冷凝压力调控

煤化工工艺中制冷压缩机里，冷凝器是高压侧的重要换热部件，它的传热效率直接影响整个循环系统和能耗水平，对于高温高负荷的波动工况，可以通过设计时加大冷凝器换热面积的裕度，在极限工况下进行热负荷计算，并且选用多列管壳式或高效翅片管式。同时维持冷凝温度的稳定，保证高于当地的区域夏季极端湿球温度 $6^{\circ}C \sim 8^{\circ}C$ ，从而有利于保证制冷压缩机冷凝过程的可靠性。制冷压缩机可加装旁路调节系统，采用双路 / 多路换热器组件，并设置电动调节阀的方式，在主换热单元负荷不足时，以确保主换热单元热负荷不足时得以快速切换与负载均衡。对于水冷系统，需

要采用高精度温差测量装置,将温差控制在 5°C 以下,并且通过在线加药装置做好水质稳定工作,避免出现换热管束结垢,从而保持长时间运行传热效率。在高压侧的冷凝压力控制则采用具有高压信号反馈电子膨胀阀,配合DCS(或是PLC)系统,根据高压侧的压力情况来动态调节膨胀阀的开度以及冷凝器的通风水量,确保压缩机排气压力与冷凝换热能力的联动。另外,在高温或者沙尘比较严重的区域,可以考虑在冷凝器外壳加装高压喷淋降温装置,或者微雾冷却装置,并配有排污功能确保喷淋水不易结垢堵塞喷嘴。所有冷凝压力调节和冷凝器运行工况检测的数据应进入DCS集中控制系统,并且能实现压力—温度—流量多参数的闭环调节,从而使得制冷压缩机冷凝器能够在变负荷工况下仍可保持较高水平的稳定性能。

3.5 运行监测与故障预测机制构建

鉴于制冷压缩机长期、高强度运行的特点,为确保其高效稳定运行以及煤化工生产连续性,构建集运行监测、故障预测为一体监测机制十分重要。首先,在制冷压缩机的轴承座处、缸体、高压侧部位及润滑系统的重要位置上安装轴系三轴振动传感器、热电偶温度计、压电压力传感器、电磁式流量计等设备,实时采集轴系振动、轴瓦温升、排气脉动、油路畅通度等相关运行参数,随后搭建相应的异构多源数据集,并以此为基准数据,结合边缘计算技术建立健康评估模型,在该模型的基础上运用主成分分析法以及小波包分解法提取关键特征信号,从而准确掌握制冷压缩机运行偏离程度。接着建立状态诊断子系统,实时将采集的数据映射于对应的运行历史矩阵之中,并通过动态时间规整和支持向量机算法对相关工况进行匹配,以及时发现制冷压缩机潜在的工况劣化情况(如轴承剥落、转子不平衡、密封环磨损、阀体卡滞等)。最后,监视平台设置包括对应参数漂移、状态趋势异常、状态结构扰动以及突发性故障的四级预警机制,由系统自行实现适时连锁动作(即负荷限制运行、热备机启

动、润滑系统增压或停机保护),以保障工况瞬变下迅速应对^[5]。另外,为提高检测的准确性,可以加入信号自校准模组,借助冗余信道和贝叶斯融合算法将异常点剔除,提高数据的完整性及连贯性。针对冷剂压力变化剧烈和压缩段温差波动较大的区域,分别部署冗余测点以构成局部监控子网,在此基础上利用逻辑回归方法进行异常数据交叉判断,再根据制冷压缩机型号、工作时间、故障统计特征等信息建立起设备的周期寿命档案及维护规则库,并以此为基础形成以故障概率分布为依据的预测性维护计划的自动生成,从而实现制冷压缩机运行过程的闭环风险控制。

4 结语

制冷压缩机是整个煤化工工艺系统的能源转换装置,在低温分离、产品提纯和热量管理等主要工艺环节都承担着非常重要的任务,是整个系统中的重要组成部分。随着煤化工工艺将更加精细,制冷压缩机需要围绕着系统匹配、关键技术参数调控以及运行维护等方面开展工作。同时还须根据不同的选型与运行调节方式来优化运行参数,并运用先进有效的故障预警手段加强安全操作及提高生产效率,制冷压缩机将大大提高其运行经济效益,从而保证煤化工企业的正常连续性生产。

参考文献

- [1] 贺锋,赵进.浅析压缩机在煤化工工艺中的应用和实践[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(003).
- [2] 张丽,张永纯.浅析压缩机在煤化工工艺中的应用和实践[J].石油石化物资采购,2022(14).
- [3] 焦多瑞,沈志强.压缩机在煤化工工艺中的应用和运行管理[J].安防科技,2021(011):122.
- [4] 王浩.浅析压缩机在煤化工工艺中的应用和实践[J].市场周刊·理论版,2020(82):192.
- [5] 佚名.浅析压缩机在煤化工工艺中的应用和实践[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2023(6):2933-2934.