

探究轴流压缩机的防喘振控制

杨天

(成都成发科能动力工程有限公司 四川 成都 610000)

摘要: 工业企业在实际的生产过程中,尤其是在应用各类高炉电拖轴流压缩机等相关系统中,普遍会出现防喘振系统的相关问题。基于此,本文以 ACL63S-15 全静叶可调轴流压缩机为主要研究对象,首先介绍了轴流压缩机的主机结构及特点,简单概述了轴流压缩机的喘振与防喘振基本原理,再相继提出轴流压缩机运行期间存在的主要问题;其次有针对性地论述了轴流压缩机的防喘振控制措施;最后说明了轴流压缩机带来的经济效益,希望能给同行提供一定的帮助。

关键词: 轴流压缩机; 防喘振; 主要问题; 控制措施

0 引言

为了顺应时代发展潮流,工业企业管理人员应掌握先进的现代工业处理技术,科学合理地运用轴流压缩机等系统装置,并在大量模拟试验和实践探索下,全面系统地了解全静叶可调轴流压缩机的防喘振控制方法,充分发挥轴流压缩机能源使用效率高、冶炼系数高且送风效果较好的诸多优势,通过应用多元化的管控措施有效杜绝轴流压缩机出现喘振现象,继而为工业企业带来较大的经济效益和社会效益。

1 轴流压缩机相关内容介绍

1.1 轴流压缩机的主机结构及特点

下面以某个工业企业的轴流压缩机系统为主要研究对象。管理人员为了确保此类系统装置能够促进高炉正常运转,妥善地将高炉排放出的高炉煤气通过 TRT 进行膨胀做功处理,通过相关操作直接将回收的能量以机械能的方式补充传递给轴流压缩机,以减少电动机的功率消耗,具体管控情况如下:

企业管理人员牢牢结合企业整年发展战略,投入适当建设资金,严格按照国家规定的机组生产要求,批量引进型号为 ACL63S-15 的全静叶可调轴流压缩机,进一步了解后发现,此种轴流压缩机设备的静叶角度调节范围在 $14^{\circ} \sim 79^{\circ}$ 之间,整体的最大设计多变效率为 $< 90\%$ (E 点)。

经过密切观察后发现,静叶可调结构是轴流压缩机的主要特点之一,当操作人员对静叶结构零部件进行启动时发现,第一级静叶开度可关至 14° 左右,此种设计可以促使启动力矩最小和启动时间较短。经过

大量实践证明,此种型号的轴流压缩机的应用范围相对较广,在喘振裕度大的情况下,机组运行的工作效率较高。据有关资料显示,一般情况下,壳体、静叶承缸、调节缸、转子、轴封、轴承、进口圈、扩压器、伺服油缸及底座为轴流压缩机主机的重要组成部分,并且电动机通过一定的方式带动机组系统后,妥善地用膜片联轴器相互连接,通过肉眼观察可以发现,从轴流压缩机进气端向排气端看,其旋转方向为顺时针。管理人员通过探讨后决定按照国家规定的 JB/T 4359-2014 标准对壳体结构进行压力设计,三层缸(即外壳体、调节缸和静叶承缸)结构和水平剖分式是机组组装的架构。首先,系统设计人员将轴流压缩机水平剖分为调节缸和外壳体两个部分,并选用质量较佳的钢板材料和相关锻件构成一个完整的焊接体系,在反复进行数次热处理后,确保机组运行效果能够达到预设标准。同时,蜗壳式为轴流压缩机的进、排气特点之一,轴流压缩机沿径向进气、排气,中分面螺栓拧紧,将上、下壳体连接成一个刚性强的整体,在有效应用完整的滑销系统后,减少热胀冷缩现象的发生,避免机组零部件出现明显的变形。其次,确保外壳体结构的 4 个支撑点合理分布在底座相关位置上,例如将 4 个支撑点设计在下壳体两侧靠近中分面处,以便能够达到最佳的支撑效果。值得注意的是,4 个支撑点内部包含两个不可移动的支撑点,另外两个点位可以随着机组运行情况发生改变,且在轴承箱的下方沿着轴向安设导向键,便于机组在运行期间受热膨胀后的疏导。

与此同时,调节缸分 4 个点位支撑在壳体内部,操作人员用无油自润滑轴承对 4 个点位的轴承进行相应管理,在保证一侧的两个点位为封闭式结构后,另一侧的

两个点位为开放式结构，以便后期机组运行过程中径向热膨胀和相关轴向运动的发生。值得说明的是，应在调节缸内部安设适量级别的静叶导向环。

球墨铸铁浇注而成的静叶承缸缸体是轴流压缩机的重要组成部分，经过加工人员精细处理后构成一个完整的系统结构。静叶承缸缸体两侧相继支撑在外壳体后，固定的一端作为进气口，另一侧的滑动点位作为排气口，静叶承缸上装有各级可调的静叶，每个静叶上都装有静叶轴承、曲柄、滑块等，且静叶叶柄上装有密封环，以防止气体泄漏和灰尘进入。

最后，对轴流压缩机内部转子进行全面分析。主轴、各级动叶、密封齿片是转子结构的重要组成部分，在等半径结构的转子形态下，应对转子间距进行合理设置，在促使相关零部件能够达到高速动平衡效果后，提升轴流压缩机的运行水平。

另外，轴流压缩机叶片的设计，使用航空发动机压气机设计流程和设计软件进行统一安排，在应用完整的亚音速叶型后，可以使之流畅均匀、效率高、喘振边界宽。在对叶片进行具体设计时，相关人员应结合实际情况对叶片强度进行反复计算，以达到最佳的抗疲劳、防振效果。在机组叶片制作完成后，应严格按照国家规定的检验标准，对相关零部件进行测频、修频和无损探伤，严格控制制造质量，保证机组长期安全、可靠地运行。

1.2 轴流压缩机的喘振与防喘振基本原理

企业机组管理人员通过大量观察，并结合其他厂家机组运行资料发现，当轴流压缩机在实际运行期间内部气体压力受到阻碍，气体流量逐渐减小，在达到不可控制范围后，轴流压缩机的内部气体向入口流动，造成轴流压缩机的出口压力瞬间降低（这是机组普遍出现的不良现象之一），继而机组排气口的气体又会向出口流动，这就造成排气口的气体压力明显增强。当长期处于此种状态时，轴流压缩机就会出现喘振现象。此时，快速旋转的叶片处理系统在背面受到大量气流压力后就会出现气流不稳定的情况，严重时还可能出现轴向窜动反应，致使轴流压缩机无法正常运转，一旦此种失衡情况得不到有效控制，就可能出现轴流压缩机叶片断裂的情况，导致轴流压缩机振动加大甚至直接停止运行，造成轴流压缩机机组报废。如图所示为轴流压缩机的特性曲线示意图。图中，管网阻力线用曲线1表示，当静叶角度适中时，系统稳定工况点位就是和特性曲线相交的点位C，假设管网阻力不断增加，而静叶角度不变，此时稳定工况点位C就会向上移动，一旦高于B点时，轴流压缩机的排气压力和输出流量就会相继混乱，系统内部就会

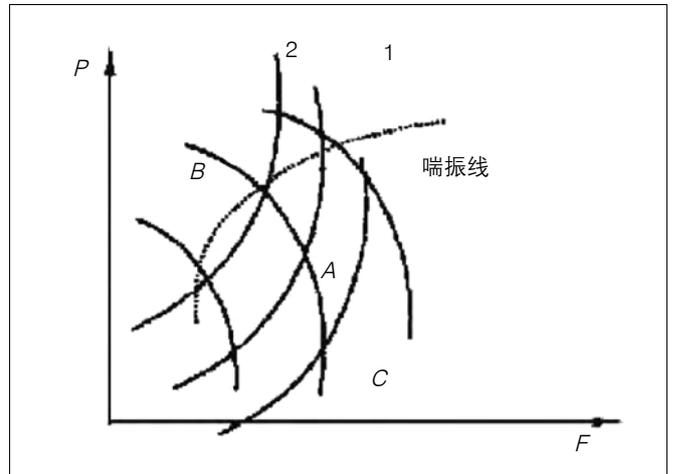


图 轴流压缩机的特性曲线示意图

随之发出类似哮喘病人的“喘气”声音，机器振动次数越频繁，“喘气”般的振动声音也会越频繁。人们将这种声音称为机器“喘振”效应，B点称为临界喘振点。由此可见，因其静叶角度在反复变化期间，都会始终存在一个喘振点位，相关人员将所有喘振点位综合连接后组成完整的喘振线。重点说明的是，喘振线以上的区域称为“喘振区”，只允许轴流压缩机在喘振线以下的区域运行。

2 轴流压缩机运行期间存在的主要问题

2.1 防喘振控制系统抗扰动差

众所周知，高炉管网在运行期间经常会受到外界各种阻力因素的约束和干扰，传统的防喘振管理模式只能促使轴流压缩机靠近防喘振调节区域，此种方法会从一定程度上导致轴流压缩机在正常运转过程中大量风能源出现严重损失，继而诱发各类安全生产问题。由于传统的防喘振控制方式会使用落后的PID控制模块来达到一定的调节效果，在科技水平不断发展的大时代背景下，无法达到预期的控制效果。一旦相关工况点位接近防喘振调节曲线时，就容易产生高温膨胀现象，大量的热风压力导致系统不稳定，最后诱发高炉内部架构工况失常。例如，如果控制方式致使工况点位超出可以调节的范围，系统内部的防喘振阀就会对其进行回拉调节，在3~4s内将其拉至防喘振线下方后，轴流压缩机的出口压力将会高于30kPa，如果高炉结构内部经常出现“憋压”效应，压力波动可能高于52kPa，一旦伴随着中断送风的情况，极有可能造成高炉突然出现风口灌渣和崩料等安全事故。因此，在实际的机组管理期间，管理人员应采用合理的管控方式，促使防喘振曲线和轴流压缩机的工况点位间距适中，并投入适当建设资金，安

装相应的高炉监测系统,密切关注高炉的运行情况,一旦发现异常现象时,应及时对内部间距进行调节,并采用合理的管控方法,避免防喘振调节过程中产生压力振荡现象。

2.2 防喘振控制系统温度补偿不准确

通过了解后发现,传统的轴流压缩机防喘振控制系统的温度补偿都是通过温度系数与喉部压差的乘积达到控制效果的。然而,此种形式不能全面地反映轴流压缩机在不同温度条件下的机组性能变化,虽然机组管理人员通过增加、减少防喘振裕量或者调节机组放风量等方式,可以从一定程度上保证机组整体运行效果,但是此种方式会造成大量资源的浪费,不利于企业的可持续发展。

3 轴流压缩机的防喘振控制措施

3.1 采用高炉轴流压缩机综合优化控制改造防喘振控制

这里将高炉轴流压缩机控制优化系统简称为“PCBB”。控制人员应在了解高炉结构的基础上,在原始轴流压缩机构架的基础上,妥善应用适量的PCBB软件,减少喘振情况的发生。进一步了解后发现,此种优化控制管理模式摒弃了以往的PID控制方法,应用完整的PCBB软件后可以确保压缩机组系统能够蕴含相关功能模型,采用人工智能化措施来实现高炉轴流压缩机的自动化控制,期间产生的数据信息相对精准,当机组完成传统仪表无法完成的操作环节后,确保轴流压缩机的管理水平有所提升。据有关资料显示,应用PCBB技术后,可以有效控制防喘振出现在工艺阻力突变的情形下,使轴流压缩机具备足够的响应速度远离喘振区域,可以明显扩大轴流压缩机的工况范围,同时保证机组系统内部的排气压力、供风压力相对稳定,最后形成高炉与机组内部零部件始终处于良好的工作状态。与此同时,当防喘振阀门处于自动运行的状态时,采用此种技术可以不用投入大量的人力来将工况点位控制在防喘振线上,可以进一步减少调节振荡的不良后果。进一步了解后发现,PCBB技术主要是借助完整的PLC控制系统来提升防喘振阀门的运行速度,并结合相关控制算法保证轴流压缩机内部不会生成放风噪声,此控制周期仅仅在11ms即可完成。如果高炉所需摄入的风量较小时,操作人员仅仅通过改变轴流压缩机的静叶角度即可对送风量进行调整,节约了因放风而消耗掉的大量能源。

3.2 对防喘振线进行准确的温度补偿

系统控制人员结合先进的计算机技术,合理运用“压

缩能量头控制”计算方式,密切联系热力学的知识理论,全面分析、了解轴流压缩机喘振和防喘振的动态曲线数据,并依照轴流压缩机入口的温度对曲线进行优化和改进,在喘振曲线能够保证轴流压缩机在任何工况条件下都可以处于安全运行情况后,进一步发挥机组系统的运行功能,提高机组运行效率,满足国家规定的节能环保要求。

4 效益分析

4.1 达到既保压缩机又保高炉

经过优化控制的系统可以对各个零部件进行防喘振调节,不但可以有效促使压缩机送风压力满足实际需求,还可以确保高炉风源不会对其他设备产生不利影响,在彻底解决了“保风机”和“保高炉”之间的矛盾后,为高炉长期稳定运行提供了有力的保障。经过大量实践证明,新型高炉偶尔会出现送风管道憋压情况,轴流压缩机内部的工况点位几乎都会超过防喘振曲线,此时会根据系统运行情况及时将防喘振阀开启,在保证工况点位切实调整到防喘振线以内时,促使高炉系统和压缩机平稳运行。

4.2 使ACL系列轴流压缩机的工况范围扩大

这里将全静叶可调式简称为ACL。经过轴流压缩机人员的不断摸索,ACL轴流压缩机是可以实施的。根据高炉用风量的实际情况,对静叶角度做出基础调整和优化,在保证压缩机出力效果在合理情形时,可以节约大量的能源,因为原始的防喘振系统不能完全准确地对压缩机进行自动控制,还需要机组管理人员通过人工方式将防喘振阀门打开,以保证送风量能够达到工作要求,在压缩机工作范围扩大6%的基础上,确保最大送风功率有11%的提升空间。

4.3 更加易于操作

控制人员在对轴流压缩机回路进行优化改进后,可以使得防喘振阀门的操作难度逐步降低,在一系列自动化管理后,保证压缩机的放风状态能够及时切换到送风状态的复风操作,将原始的5min操作过程缩减至32s左右。在工况点位不会接近喘振区域后,减少安全事故发生的概率。

5 结语

总而言之,对高炉系统内部防喘振控制系统进行改进后,不但可以确保轴流压缩机平稳运行,还可以使轴流压缩机的工况范围扩大。在实际的压缩机应用期间,工业企业管理人员应积极学习国内外先进的防喘振技术,引进适量的可编程控制器,以提高轴流压缩机的机

组效率,为企业创造更多的生产效益。

参考文献:

- [1] 黄正标. 离心式压缩机的防喘振控制及实现方式研究[J]. 石油石化物资采购, 2022(22):27.
- [2] 方俊. 离心压缩机的防喘振控制研究[J]. 中国设备工程, 2021(24):203-205.
- [3] 安志磊. 离心压缩机的防喘振控制措施[J]. 化工管理, 2021(1):125-126.
- [4] 刘亚鹏. 丙烯透平压缩机组防喘振控制优化改造方案解析[J]. 化工管理, 2021(30):181-182.
- [5] 秦晓东, 邓琳纳, 李泊翰, 等. 天然气离心式压缩机防喘振优化控制技术研究[J]. 石油和化工设备, 2021, 24(9):87-88.
- [6] 毛大军. ITCC防喘振控制系统在离心式压缩机中的

运用[J]. 化肥设计, 2021, 59(1):37-41+61.

- [7] 高永卫, 黄春建, 闫二轮, 等. 天然气压缩机防喘振与优化控制研究[J]. 石油和化工设备, 2021, 24(5):77-79.
- [8] 关欣, 周顺新, 于洋, 等. 轴流压缩机联轴器装配方案[J]. 金属加工:冷加工, 2021(6):39-40.
- [9] 潘怀民, 黄习兵. 多级离心式压缩机防喘振系统模拟研究[J]. 大氮肥, 2021, 44(5):316-322+337.
- [10] 李芳, 刘杰, 崔红林. 透平压缩机的防喘振控制应用研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2020(5):54-56.
- [11] 姜丽霞. 离心式压缩机的防喘振控制设计探讨[J]. 山东化工, 2022, 51(2):161-162+165.

作者简介: 杨天(1983.07-), 男, 汉族, 本科, 高级工程师, 研究方向: 燃气轮机的生产及应用。

(上接第34页)

二是升级泵体隔板密封胶。真空泵机体隔板采用的密封胶最高使用温度为150℃, 耐温程度低, 在停工检修时难以用蒸汽彻底吹扫干净, 建议以后更换为耐高温的密封胶。

三是增加一台冷却器。液环抽真空机组冷却器只有一台, 长周期运行过程难以避免检修维护, 需要并联增加一台冷却器, 装置正常生产期间, 开一备一, 更加有利于装置长周期运行。

四是应用到初常顶瓦斯回收系统上。液环抽真空机组运行状况稳定, 维护费用低, 可以考虑替代初常顶瓦斯螺杆压缩机, 实现长周期安全高效运行。

4 结语

液环抽真空机组运行已经有一个多周期, 状态稳定, 实践证明改造取得成功。液环抽真空机组运行产生的经

济效益显著, 更加符合环保要求。与蒸汽抽真空相比, 液环抽真空能量利用率高、能耗低、大幅减少含硫污水且噪声小。用液环抽真空机组替代二级蒸汽抽气器运行, 装置运行可靠性增强, 使用液环抽真空机组后, 可以大幅度降低1.0MPa蒸汽对减压真空度的影响, 紧急状况下, 可以相互切换, 装置安全平稳运行更有保障。新技术的应用需要和装置实际情况紧密结合, 不断优化改进, 可以发挥更好的作用。

参考文献:

- [1] 冯玉玲. 液环真空泵在常减压装置真空系统中的节能应用及设计要点[J]. 化工设备与管道, 2013, 50(4):47-50.
- [2] 全国化工设备设计技术中心站机泵技术委员会. 工业泵选型手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.