

转炉风机负荷分配在 PS 转炉 集中供风系统中的应用

王恩毓, 徐 宏, 白晖华

(金川集团股份有限公司, 甘肃 金昌 727104)

摘要:针对 PS 转炉集中供风系统在生产过程中转炉用风波动量大、风机易喘振等问题,以甘肃某公司动力厂鼓风机站转炉供风系统智能控制研发与应用项目为案例,分别对风机单机控制系统、PS 转炉集中供风系统中风机负荷分配方案以及多台风机与 PS 转炉的智能联动系统做了详细的介绍,对于其他风机集中供风系统升级优化具有一定的借鉴意义。

关键词:风机; 负荷分配; 集中供风

中图分类号: TH45

文章编号: 1000-0682(2025)01-0116-04

文献标识码: B

DOI: 10.19950/j.cnki.cn61-1121/th.2025.01.021

Application of load distribution of converter fan in centralized air supply system of PS converter

WANG Enyu, XU Hong, BAI Huihua

(Jinchuan Group Co., Ltd., Gansu Jinchang 727104, China)

Abstract: Aiming at the problems such as large storm momentum and easy surge of the fan in the production process of the centralized air supply system of PS converter, the research and application project of intelligent control of the air supply system of the converter in the blower station of a power plant of a company in Gansu Province is taken as an example. The single fan control system, the fan load distribution scheme in PS converter centralized air supply system and the intelligent linkage system between multiple fans and PS converter are introduced in detail, which has certain reference significance for the upgrading and optimization of other fan centralized air supply system.

Keywords: fan; load distribution; centralized air supply

0 引言

铜镍转炉吹炼是间歇性作业,一般送风时间占 60%~75%,间断停风占 40%~25%。甘肃某公司动力厂鼓风机站采用风机并联运行的模式向 PS 转炉集中供风,利用较少的风机配置满足多台转炉的生产要求,提高了风机利用率,降低了能耗。但风机并联运行模式下多台转炉无序用风,风机在流量大范围波动的情况下易发生喘振,轻则造成跳车,重则损坏轴承、叶轮,甚至会造成风机飞车。因此,集中供风系统对智能控制技术要求非常高。

1 集中供风工艺流程

甘肃某公司鼓风机站现配置 5 台进口撬装离心式单叶轮风机为 7 台转炉并联供风,分别是 2 台 Atlas 和 3 台 KK&K 公司生产的风机,并由德国 KK&K 公司成套供应 MCP(Master Controller Panel)中央调度控制系统,不但实现风机的并联运行、负荷分配,改变了传统转炉与风机“单对单”吹炼的方式,而且通过与风机单机的控制系统信息交互,依据管网压力预测技术来实现风机负荷分配、辅助防喘振控制和自动加、卸载及启停等功能。但该系统随着用户使用操作条件、机组性能变化等因素,也表现出一些不适应的问题,如遇剧烈风量变化时存在风机喘振保护停机、转炉之间抢风等问题。同时,风机投产运行至今已二十年,成套进口的单机控制系统与 MCP

收稿日期: 2024-08-01

第一作者: 王恩毓(1998—),男,甘肃武威人,大学本科,初级工程师,过程自动化。

中央调度控制系统故障率明显升高,存在影响转炉生产的重大风险。为提升风机的安全稳定运行及精

准供风水平,全面提升系统生产效率,确定了对集中供风控制系统的升级改造方案。

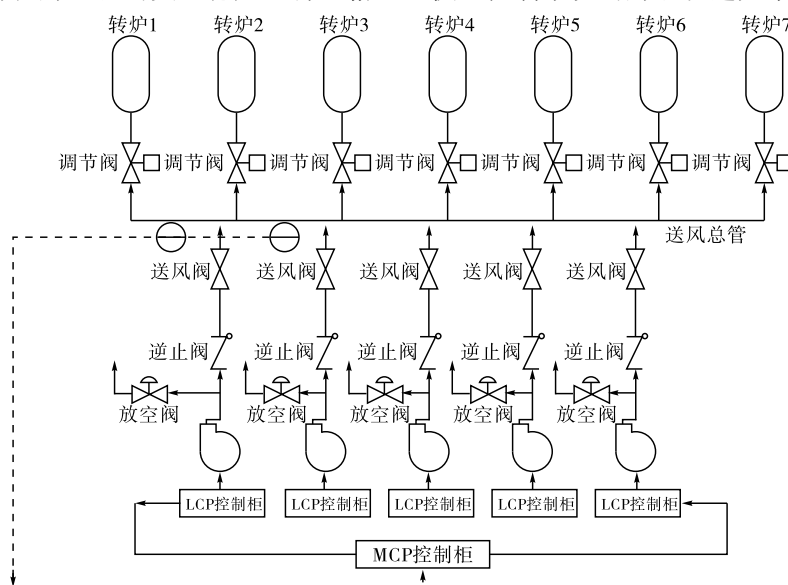


图1 风机并联供风系统示意图

2 单机控制方案

离心式风机的运行工况偏离设计工况会导致风机流量减小,使得风机内部叶轮、扩压器等部件气流方向发生变化,在叶片非工作面上出现气流的旋转脱离,造成叶轮通道中气流无法通过。在该工况下,风机出口压力及与送气管网压力会出现不稳定波动,进而使得风机出口气体反复倒流,导致风机内部出现周期性轴向、低频、大幅气流振荡现象,即发生“喘振”^[1]。

防喘振控制的目的是使风机在性能曲线上的工作点始终处工作区内,防止风机发生喘振现象,使风机能够安全运行。由于风机流量减小是风机发生喘振的根本原因,因此只要通过调节相关阀门使得风机流量大于最小流量,风机就不会发生喘振。风机性能曲线示意图如图1所示。

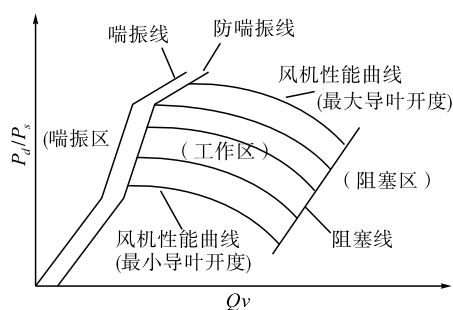


图2 风机性能曲线示意图

图2中, P_d 为风机出口压力; P_s 为风机入口压力; Q_v 为风机入口体积流量。

风机防喘振控制的基本原理就是要在风机喘振出现先兆时将其消除,始终保证风机工作点运行在控制线右边,即安全区域内。即当风机流量降低到安全下限值时,通过降低风机出口管线的流阻,提高入口管线流量,降低风机出口管线压力,进而避免流体倒流,防止喘振现象的发生。降低风机出口管线流阻的方式采用通过打开放空管线上的放空阀将风机出口气体排向大气,在降低风机出口管线压力的同时,增加了风机的流量,可使风机工作点由喘振区移动至稳定工作区,实现了风机的防喘振控制^[2]。

将离心式风机性能曲线的压比(P_d/P_s)作为纵坐标,风机流量(hc)作为横坐标,建立防喘振控制坐标系,计算风机运行点与喘振控制线的运行距离。防喘振控制就是利用这一原理,将喘振线向右移动5%设置一条控制线,通过控制系统不断地计算工作点到控制线的距离来输出一个变量。如图3所示。

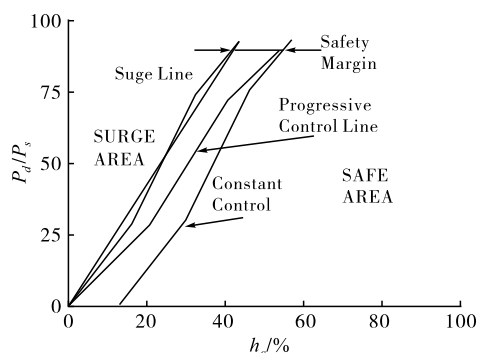


图3 风机防喘振基本原理图

图 3 中, P_d 为风机出口压力; P_s 为风机入口压力; $h_c\%$ 为风机入口流量。

在日常生产过程中, 每台转炉包括加料、送风、排出过程中的风量波动是非常大的, 况且本次集中供风系统管网负载 7 台转炉, 可想而知, 风量负载的运行变化是具有高频的、大波动的特点。其次供风管网风量波动会导致送风倒流, 关闭逆止阀, 瞬间喘振, 风机转子、轴承会承受较大的冲击。

针对这种工况条件, 项目组在风机原有的单机控制方案的基础上, 利用 TSxPlus 系统做出了以下几点改进措施:

(1) KK&K 风机原启动方式采用了顺序控制策略, S1 - S10 步骤进行条件启机过程, 该过程包括了启动、正常停机、紧急停机、加载控制过程和、减载控制等过程控制。本次优化维持原来控制过程, 但增加步序多条件关联优先稳定功能, 把原程序多条件跳步关联起来, 并建立补充关联监控画面, 方便操作人员及维护人员的识别与操作判断。

(2) 风机控制系统通过控制风机的导叶来满足风机对流量和压力的要求, 而防喘振阀的开度也同样影响到风机的流量和压力。通过改变导叶调节压力时, 随着导叶的变化, 运行点位置也发生变化, 同时喘振线的压力点也在变化。通过防喘阀调节压力时, 随着防喘阀的开度变化, 风机的流量、压力也随之变化。因此风机出口压力控制器和防喘振控制器这两个控制回路是耦合的、相互影响的, 单方面调整有可能会造成风机压力、流量的不稳定。针对这种情况, 本次采用的 TSxPlus 控制系统内设置有压力喘振解耦控制模块, 通过将两个控制器各自的输出加权到对方的控制响应中的方式来降低压力控制和喘振控制之间的耦合度, 使二者的控制过程更加平稳, 更有利于工艺生产。同时该解耦控制还设计有最小安全裕度和最大安全裕度, 控制程序保持工作点在这个范围内工作是最节能和最安全的工作区域。

(3) 根据风机入口流量、入口压力、出口压力及入口和出口温度来计算当前工作点, 判断是否发生喘振。同时根据压比 (P_d/P_s) 计算法计算风机防喘振曲线。如果系统检测到工作点已越过喘振线, 表示喘振已发生, 喘振控制线将按照等百分比增加 (2%) 的方式自动向右调节一定的裕度, 将再次加大安全余量^[3]。在找到喘振发生的原因并消除后, 可将向右偏移的喘振线进行手动复位, 清除喘振发生时控制线自动向右偏移的裕度, 使控制线回到最

初设定的位置。控制线自动右移示意图如图 4 所示。

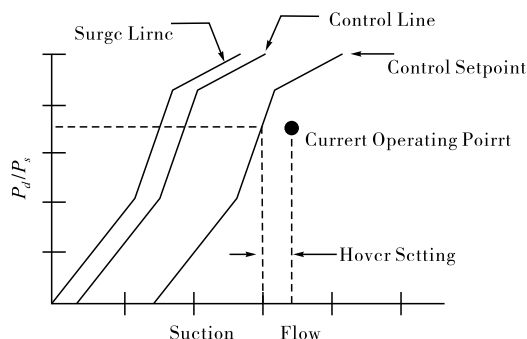


图 4 控制线自动右移示意图

(4) 当风机工作点向喘振区移动的速度过快且越过设定点时, 此时防喘振控制器将迅速打开防喘振阀, 同时设定点将按相同的速率快速减小并建立新的工作点。如果防喘振控制器在执行上述操作后, 工作点仍在控制线左边。此时风机处于即将喘振的边缘, 须快速打开防喘振阀来防止风机喘振。为防止此类情况发生导致设备损坏, TSxPlus 系统内部还设计有比例调节功能, 该功能可独立于其他正常控制器打开防喘振阀。也就是说, 即使在喘振控制器失调的情况下, 只要风机工作点位于控制线的左侧就会快速打开防喘阀。

3 负荷分配控制方案

对于并联风机组成的多机组应用, 负荷分配控制调整了整个管网的负荷, 使之满足了工艺需要, 但各风机之间的负荷并不平衡, 这就需要用负荷平衡算法来平衡各机组的负荷。而负荷平衡的基本原理就是将各风机的运行点调整到与喘振控制线等距离的位置上。实际应用中就是将每个单机的负荷分配控制器计算出的风机运行点的位置发给主性能控制器, 再由主性能控制器进行相关计算后发送给各个风机, 调整各个风机单机负荷。

在甘肃某公司动力厂鼓风机站将 5 台风机按照 1、2、3、4、5 的优先级顺序进行排列, 在开启多台风机并将风机 LCP 柜打至远程位置后, MCP (Master Controller Panel) 中央调度控制系统中的主性能控制器会控制公共管网压力调整各个风机的出口压力控制器。各单机上的出口压力控制器调节单机的负荷, 喘振控制保护机组不受喘振威胁, 并为负荷分配控制提供控制的基准。具体应用示意图如图 5 所示。

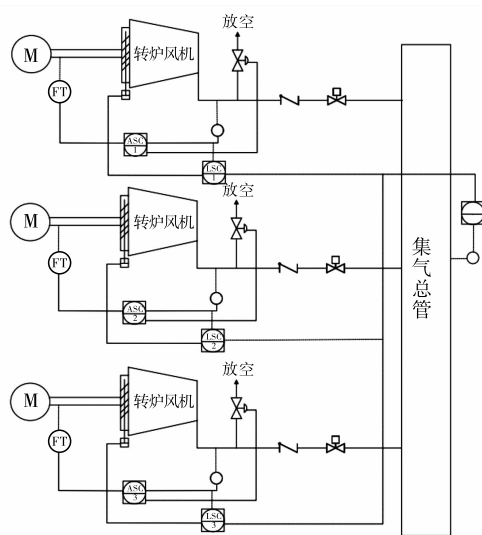


图 5 多机并联与负荷分配示意图

图 5 中,ASC 为防喘振控制器;LSC 为负荷分配性能控制器;PIC 为主站性能控制器。

主站性能控制器(MPC)在运行过程中,同时指挥所有在线运行并联风机同时、同步、同幅度参与总管压力的控制与调节,极大程度地提升了总管负荷的调节性能。当总管压力突然升高时,主站性能控制器(MPC)发出压力超驰响应以指挥各个在线运行并联机组的防喘振控制器同时、同步、同幅度打开各自的防喘振放空阀门,在保证机组运行安全的同时,实现总管压力控制稳定、精确。反之当总管压力突然下降时,主站性能控制器指挥各个在线运行并联机组的入口导叶同时、同步、同幅度打开,再经过负荷平衡使得总管压力达到设定值。通过这种方式,5 台并联运行风机在 PS 转炉用风量波动大且频繁的工况下,实现所有在线并联运行机组的快速、协同调整从

而实现总管压力的响应快速性和控制稳定性。

4 转炉联动控制系统

通过 Modbus 协议完成 MCP (Master Controller Panel) 中央调度控制系统与合成炉转炉控制系统之间的通讯,将两个系统之间的工艺生产信息进行共享,提高两个单位之间的沟通效率。MCP 中央调度控制系统利用转炉用风风量及炉体位置信息提前调整风机负荷,使得总管压力变化更加平稳。同时,如果转炉控制系统发现风管突然压力下降,则提前联锁转炉,防止发生转炉炉眼倒灌等事故。

5 结语

2023 年 8 月甘肃某公司动力厂鼓风机站转炉供风智能控制系统投入运行,截至 2023 年 12 月机组运行稳定、转炉高效生产,该各项目标控制工艺参数基本达到了预期值。不仅实现了风机运行参数的准确监测和单机的联锁保护,还实现了多台风机的并联定压控制和负荷自动分配。供风总管压力波动范围 106 ~ 124 kPa,与设定值 115 kPa 的偏差为 $\pm 7.8\%$,达到了供风总管压力波动小于 15% 的目标。

参考文献:

- [1] 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(05):316-322+337.
- [2] 吴佳欢. 离心式压缩机的防喘振控制设计探讨[J]. 石油化工自动化,2016,52(05):33-36.
- [3] 迟祖涛,刘春弟,康宝杰. 催化裂化机组控制系统的应用及改进[J]. 石油化工自动化,2011,47(04):70-72.
- [4] 付昱,何金起,林锴翔. 基于先进检测的锅炉低负荷安全运行控制系统[J]. 中国安全科学学报,2022,32(S2):94-99.
- [5] 王富强,牛海明,刘千,等. 超临界 CO₂ 燃煤发电机组锅炉出口 CO₂ 温度鲁棒分数阶 PI ^{λ} D ^{μ} 控制[J]. 热能动力工程,2022,37(11):7-14.
- [6] 曹艺,李冬云,刘新平. 油轮锅炉蒸汽压力控制系统的建模及优化研究[J]. 机械设计与制造,2023(06):184-187+192.
- [7] 叶青,王朝阳,易广宙,等. 超超临界二次再热尾部三烟道锅炉汽温动态特性及协同优化控制[J]. 动力工程学报,2023,43(02):117-125+184.

(上接第 115 页)