

大型制氧机组空压机防喘振 DCS 控制系统研究

肖 园

(北京首钢自动化信息技术有限公司 京唐运行事业部,河北 唐山 063000)

摘要:描述了大型制氧机组空压机发生喘振的现象和危害,分析了空压机喘振的产生原理。重点阐述了防喘振控制原理和方式,有关防喘变量计算和防喘控制线的确定,以及首钢京唐钢铁公司 $7.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ 空分装置空气压缩机 DCS 防喘振控制系统的应用。

关键词:空压机;喘振;DCS 防喘振控制

0 前言

首钢京唐钢铁公司供气分厂 $7.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ 空分装置,采用内压缩工艺流程,2 台空压机均选用 MAN 公司透平式压缩机,空气流量为 $3.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$,排气压力为 0.5 MPa。空压机采用恒压控制将空气压入工艺管道,装有防喘振放空阀,能够满足空压机全部空气量放空。空压机采用横河 DCS (Yakogawa Centum CS3000) 控制系统,现场仪表布置简洁,充分发挥了 DCS 的功能和优势。空分装置在钢铁厂占据重要地位,因此空压机的稳定、安全运行有着非常重要的意义。如果空压机发生喘振,往往会使空压机内部损坏,甚至使整个空分生产流程停产,影响转炉、高炉、连铸的正常生产,造成巨大的经济损失。因此,对空压机防喘振自动控制系统的研究非常重要。

1 喘振现象的定义和原因

1.1 喘振现象及定义

喘振是透平式压缩机在流量减少到一定程度时所发生的一种非正常工况下的振动。离心式压缩机就是透平式压缩机的一种形式,喘振对于离心式压缩机有着很严重的危害。

离心式压缩机发生喘振时,典型现象有:

(1) 压缩机的出口压力最初先升高,继而急剧下降,并呈周期性大幅波动。

(2) 压缩机的流量急剧下降,并大幅波动,严重时甚至出现空气倒灌至吸气管道。

(3) 拖动压缩机的电机电流和功率表指示出现大幅波动。

(4) 机器产生强烈的振动,同时发生异常的气

体噪声。对压缩机内部的迷宫密封、轴承和叶轮等附属设施造成极大损坏。

1.2 喘振发生的原因

喘振发生的内部原因与叶道内气体的脱离密切相关。当气体流量减少到一定程度时,压缩机内部气流的流动方向与叶片的安装方向发生严重的偏离,使进口气流角与叶片进口安装角产生较大的正冲角,从而造成叶道内叶片凸面气流的严重脱离。气流脱离现象严重时,叶道内气体滞流、压力突然下降,引起叶道后面的高压气流倒灌,以弥补流量的不足和缓解气流脱离现象,并使之暂时恢复正常。但是,当倒灌的气体被压出时,由于“级”中流量缺少补给,随后再次重复上述现象。这样,气流脱离和气流倒灌现象周而复始地进行,使压缩机产生一种低频高幅的压力脉动,机器也强烈振动,并发生强烈的噪声。

从压缩机性能曲线的角度来看,压缩机在发生喘振时,其工作点肯定进入了喘振区,因此还与管网有着密切的关系。使压缩机与管网联合工作点进入喘振区的外部原因均会造成喘振。

通过长时间统计空压机发生故障时的现象,以下原因可能引起喘振发生:

(1) 空分系统的切换故障。进主换热器或分子筛的阀门不能及时打开,使空压机出口压力升高,导致管网特性曲线急剧变陡,压缩机与管网联合工作点迅速移动,进入喘振区导致喘振。

(2) 压缩机内部气道堵塞。可能由于级间冷却器泄漏或结垢,使气道变窄。

(3) 压缩机进气过滤系统发生堵塞,造成进气

收稿日期:2010-05-02

作者简介:肖 园(1983-),男,河北任丘人,工程师,主要从事空分装置自动化维护工作。

阻力大。

(4) 压缩机启动过程中升压速度过快,进口导叶开度过小。

(5) 电网电压不稳定或周波下降,使电机功率下降,造成流量降至喘振区。

(6) 连锁停车时防空阀打开速度过慢,一般阀门动作时间应控制在1s内。

2 防喘振控制原理和方式

2.1 控制原理

防喘振控制是一个重要的安全控制,防喘振系统是通过调节入口导叶开度和放空阀(防喘振阀)开度来控制空压机的流量和出口压力,目的是使空压机工作点始终处在限定的范围内,而不进入喘振区,以确保机组的安全运行。一般来说空压机防喘控制的对象是放空阀(防喘振阀),一旦出口压力过高,空压机接近喘振区或发生喘振时,该阀自动打开,如果没有被自动打开,应及时手动打开。空压机的防喘振曲线是在现场实测出来的,考虑到系统的动态特性(喘振发生非常快),所以对控制系统、检测系统的扫描周期有很高要求,尤其是大型的空压机。

2.2 控制方式

压缩机防喘振控制常采用以下两种方法:(1) 定极限流量法:就是使压缩机的流量始终保持大于某一定值流量,从而避免进入喘振区运行。此法通常用于恒速运行的离心机,并且一般流量调节器的给定值应大于额定喘振点流量的7%~10%,此法的优点是控制简单,缺点是当机组变速运行且处于低负荷情况时,防喘振控制投用过早,造成能耗加大。(2) 变极限流量法:在变速运行的压缩机中,随着不同工况(压缩比、出口压力或转速),极限喘振流量是个变数。变极限流量法是采用随动防喘振流量控制,系统在压缩机的不同工况下沿防喘振操作曲线自动改变防喘振流量调节器的给定值,使防喘振调节器沿喘振曲线右侧安全控制线(防喘振操作线)工作,这样既安全又节能。

本空压机防喘振控制采用变极限流量法,变极限流量系统喘振曲线的数学模型可以从流量-压力特性曲线、气体动力学方程及压缩机入口流量计算公式导出,此喘振曲线在 h (入口流量仪表的差压), P_2/P_1 (空压机的压缩比)坐标上是一条直线。空压机喘振线与随动防喘振控制操作线如图1所示。

$$h/P_1 = V \times P_2/P_1 + k \quad (1)$$

式中, h 为空压机入口流量差压变送器量程的百分数; P_1 为空压机入口压力(绝)变送器量程的百分数; P_2 为空压机出口压力(绝)变送器量程的百分数; V 为常数,即直线 M_1-M_2 水平距离; k 为常数,即直线 B 的截距。

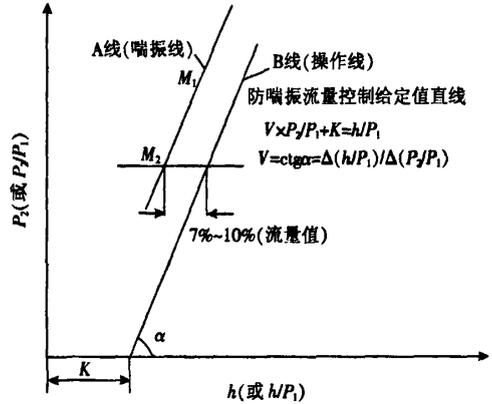


图1 空压机喘振线与随动防喘振控制操作线

空压机的运行状况在任何时候都可以用一条性能曲线来表示,当空压机的出口流量下降时,操作点会沿着性能曲线往左移动,最后会遇到一个最小的稳定流量和最大的出口压力这一点。在这一点左边操作,空压机就会发生喘振,这个点就是空压机的喘振点。空压机在不同的工况有不同的性能曲线,每条性能曲线都有一个喘振点。所有这些点构成一条喘振线,一般实际测试时取3或4个点。根据绘制出的喘振线,再作右侧平行线,间距根据空压机的设计指标而定,一般为流量刻度的7%~10%(控制裕度),这条线叫做安全线(操作线),右侧为工作区。空压机流量压力特性曲线如图2所示,防喘振控制曲线如图3所示。

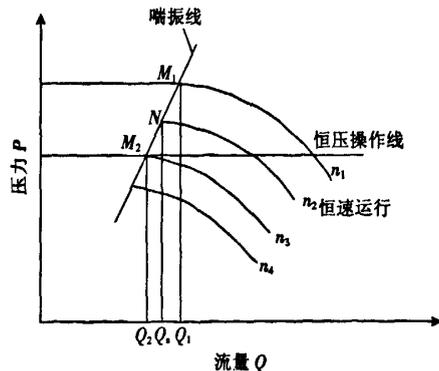


图2 空压机流量压力特性曲线

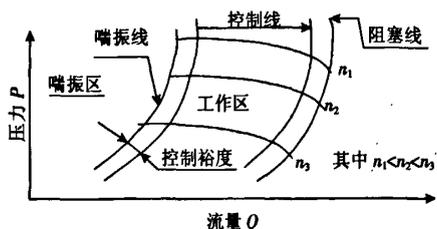


图3 防喘振控制曲线

3 横河 DCS 防喘控制系统

京唐钢铁联合公司制氧厂 $7.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ 空分装置空压机采用德国 MAN 公司制造的三级离心式压缩机,为目前中国压缩气量最大的空压机。配套西门子公司 36.5 MW 电机,变频器装置采用西门子最先进的 Sinamics 传动产品。目前两套空分设备已经投产。整个控制系统采用横河公司 DCS 系统(Yakogawa Centum CS3000),由 linde 公司完成控制系统设计。

3.1 Yakogawa Centum CS3000 的系统构成

DCS 系统的构成如图 4 所示,主要由以下几

部分组成。

(1)人机接口站(HIS)以流程图窗口为主体负责装置的操作监视,使用开放数据接口功能可以向上位计算机提供趋势数据以及信息过程数据等信息。

(2)现场控制站(FCS)负责装置的控制。根据使用的输入输出模块的不同,有 FIO 和 RIO 两类 FCS。FIO 用 FCS 和 RIO 用 FCS 具有双重化 FCS,这个双重化 FCS 中,对处理器卡件、V 网用耦合器、电源卡件、总线接口卡件、总线耦合器、节点内部总线等的构成机器进行双重化。当一侧出现故障时,控制权会无间断切换。

(3)V 网是连接 FCS, HIS, BCV 以及 CGW 等站的标准双重化的实时控制总线。具有高速响应和高可靠性。

(4)Ethernet 是连接 HIS, ENG 以及上位系统的信息系统局域网。可以与上位系统进行的数据文件通信、HIS 之间的数据等值化等。

空压机采用 DCS 自动控制,只配备必要的现

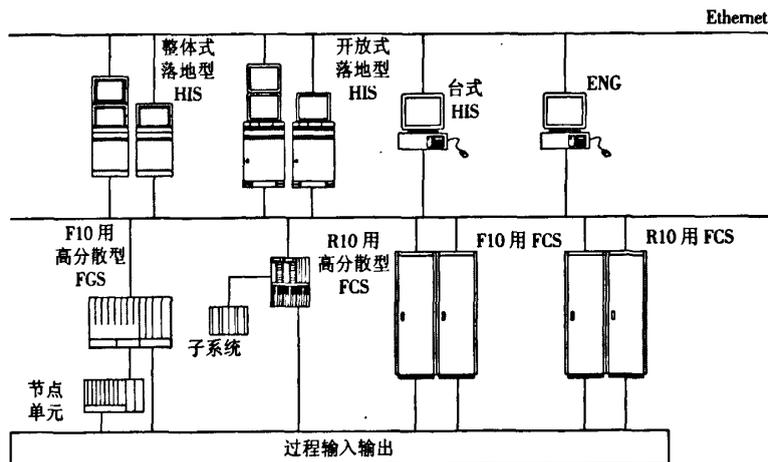


图4 横河 DCS 系统构成图

场仪表、变送器、测振探头,均由主控室集中控制,充分发挥 DCS 的优势。在 DCS 系统中实现控制线、喘振线、工作点随入口温度和流量、出口压力的变化自动补偿并动态显示。方便操作工对空压机工况的了解,并且在启动阶段各种参数的变化可以一目了然。Centum 系统的历史趋势记录功能强大,便于故障时分析原因和采取控制方案。

3.2 空压机防喘振控制实现

空压机要在空分工艺要求的压力、流量变化范围内安全运行,实现机组的启动、加载、卸载及

故障联锁停车等一系列自动控制功能。DCS 系统的核心控制功能是根据出口压力(PIC1110)、入口流量(FIC1110)、进空分塔空气流量(FIC2615)、压力(PIC2615)和电机电流的测量值(JT1181),通过多个控制模块调节入口导叶阀(IGV)和防喘振放空阀(BOV)两者的开度,使 2 个阀协调动作,保证出口压力稳定,工况远离喘振区。IGV 和 BOV 均设有自动(AUTO)和手动(MAN)2 种操作模式,以便于操作模式切换。空压机气路控制图如图 5 所示。

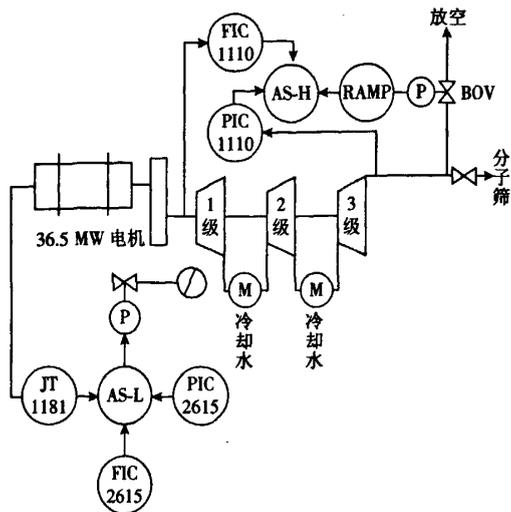


图5 空压机气路控制图

DCS控制功能图如图6所示。控制图上的每

一个功能块就是DCS中的一个软件块。为了实现变极限流量法控制空压机的喘振,DCS中设置了防喘振调节器(FIC1110),并始终处于自动状态,以保证空压机在工作区内稳定运行。当空压机出口压力达到设定的最大值时,防喘振阀就接受压力控制器(PIC1110)控制。2个控制器的输出为控制“高选”,另外,还有工艺联锁参与控制,包括进空分塔的空气阀门状态、氮压机回流阀门状态等。同时还设置了速率控制器(UY1110RAMP),以便限制阀门关闭的速度。“高选”块(UY1110)具有手动操作功能,可实现人为控制。

从功能图上可以看出调节器(FIC1110)的给定值为计算块(FIC1110_SP)的计算值,该值为变量,这正是变极限流量防喘控制的特点。喘振试验的数值为计算块的设置参数,可参照公式(1)计算相关防喘控制参数。

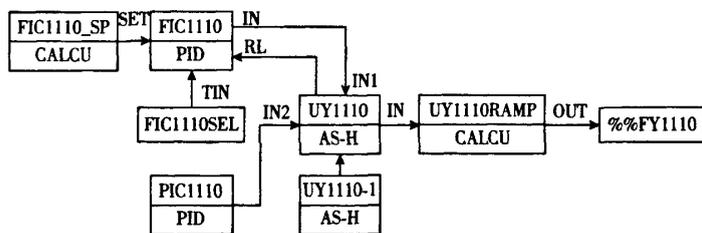


图6 DCS控制功能图

4 结束语

首钢京唐钢铁公司空压机自投产1年多以来,系统运转基本正常。横河DCS控制系统配置先进,功能强大,为操作人员提供了良好的人机交互画面,满足了生产工艺要求。该套空压机的防喘振控制系统具有通用性,可用于其它类似大型压缩机的防喘振控制。

参考文献:

- [1] 汤学忠. 新编制氧工问答[M]. 北京:冶金工业出版社, 2008.
- [2] 李化治. 制氧技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 2009.

[编辑:施迪文]