

# 基于 DCS 控制的透平空压机自动控制策略研究

田育文

华润电力南京化学工业园热电有限公司,江苏省 南京市 211500

DOI: 10.18686/dljsyj.v1i3.1137

**【摘要】**进口空压机组多采用就地单片机控制,DCS 只实现空压机启停操作,存在控制策略/逻辑不透明、数据历史记录不完善、控制逻辑优化不便、故障查找分析困难等问题,南京化学工业园热电有限公司新增透平空压机组的所有控制逻辑均在 Ovation DCS 上实现,可对空压机启停过程中的各个阶段进行监控。同时针对空压机启动过程的特殊要求(不允许盘车、升速率高达 3400r/min)及商业运行空压机组防喘振控制可靠性的高要求进行讨论、研究,不断优化 DCS 控制逻辑,最终达到汽机快速升速区平稳、空压机防喘试验结果优良的控制要求。

**【关键词】**透平空压机 控制策略 防喘振控制 DCS 系统

## 1 概述

南京化学工业园为我国第二个获国家批准、以发展石油化工为主的国家级化工园区,目前南京化工园区长芦片区已经集聚了包括名列全球化工 50 强之 9 家企业在内的一大批国内外知名化工企业,由于生产工艺的需求,园区内一些企业需要使用大量的压缩空气,为了避免企业各自建设空压机站,造成重复投资及资源浪费,根据江苏省南京市节能减排、实施能源综合利用的要求,南京化学工业园热电有限公司 2017 年投建 2 台 700Nm<sup>3</sup>/min、供气压力为 0.94MPa(g)的透平空压机组。

## 2 设备简介

本项目汽轮机采用青岛捷能 N4.3-1.3 型 4.3MW 凝汽式汽轮机,定速运行,额定转速 7400rpm,启动过程要求盘车、低速暖机、临界区升速率 800r/min。空压机采用英格索兰 5CII-5CII300TX3 型离心式空压机,额定转速 1490 rpm。空压机与汽轮机通过变速齿轮箱连接驱动运行(本文后面提及转速均为汽轮机侧转速),空压机设置进气阀与旁通阀,进气阀负责调节系统压力,旁通阀负责调节三级排气压力及防喘振控制。整套系统控制采用 Ovation DCS 实现。

由于外企对国内用户进行核心技术保密,进口空压机组多采用就地单片机控制系统,用户 DCS 只实现空压机启停操作,空压机加载/卸载、防喘振控制、喘振判断、喘振保护、系统压力调节、排气压力调

节等核心控制策略均封装在就地单片机控制器内,厂家对国内用户只提供简单的维护指导说明,存在控制策略、逻辑不透明,控制逻辑优化不便,历史记录不完善,故障查找分析困难等问题,不便于日常维护及参数调整。

## 3 原控制方案存在的问题

透平空压机组核心控制策略主要有机组启/停控制、加载/卸载控制、防喘振控制、排气压力调节、系统压力调节、喘振判断/保护,原厂家提供电动空压机的控制方案用于本项目主要存在以下不足:

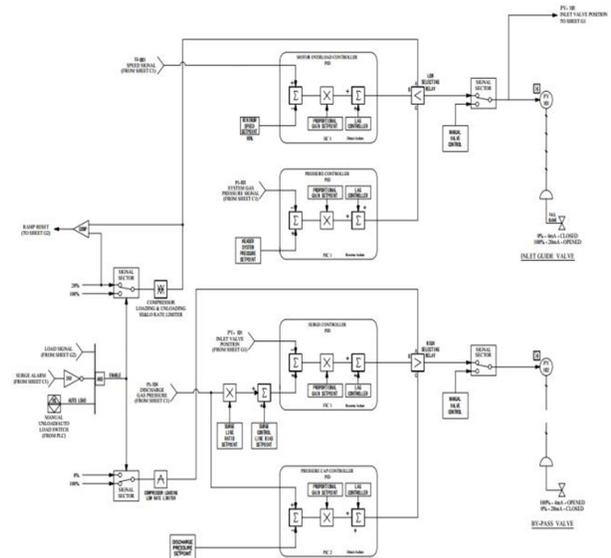


图 1 原电动空压机控制方案

### 3.1 启动控制

由于电动机通电启动后短时间即可达到额定转速,无需调速系统,启动控制逻辑简单,而汽轮机启动需盘车、低速暖机、过临界转速区,开机转速提升慢,启动控制逻辑复杂,原逻辑不能满足需求。

### 3.2 加载控制

先将进气阀打开一定开度保证空压机最低进气量,然后通过缓慢关闭旁通阀提升排气压力,该控制方式下进气阀与旁通阀动作配合不当,存在空压机加载过程持续时间长、系统压力调整响应速度慢,且容易进入喘振区的问题。

### 3.3 防喘振控制

通过电机电流与空压机三级排气压力的实验喘振点,计算出空压机喘振区域,根据喘振区域计算出安全控制线,继而设定控制方案,对于本项目而言汽轮机轴功率测量困难,该方案无法实施。

### 3.4 喘振判断/保护逻辑

空压机三级排气压力(单点)负向变化 14kPa/100ms 判断为喘振报警,10min 内系统累积检测到 4 次喘振报警,判断为空压机喘振保护动作,空压机组跳闸,该方式存在三级排气压力单点保护不可靠,空压机喘振报警引起机组跳闸的问题。

## 4 控制方案优化

### 4.1 启动控制

根据空压机启动特性曲线要求,空压机需零转速启动,盘车转速应不大于 4r/min,其中 75 至 1850rpm 空压机各级转子建立油膜,定义为第一快速升速区,升速时间需小于 60s;3700 至 7178rpm 为空压机各级转子临界转速区,定义为第二快速升速区,升速时间需小于 60s;根据升速时限可计算出两快速升速区理论升速率为分别不低于 1775r/min、3404r/min。如下图所示。

而根据汽轮机启动特性曲线要求,汽轮机冷态启动需进行低速盘车(盘车转速 18r/min),并且需在 600rpm、1500rpm、3600rpm 停留一定时间进行暖机,升速率 200r/min,其中 2400 至 3000rpm 为汽轮机临界转速区,要求速度率不低于 800r/min。汽轮机热态启动同样需投用一段时间的盘车,需在 2200rpm、3600rpm 分别停留一定时间暖机。从而得出:

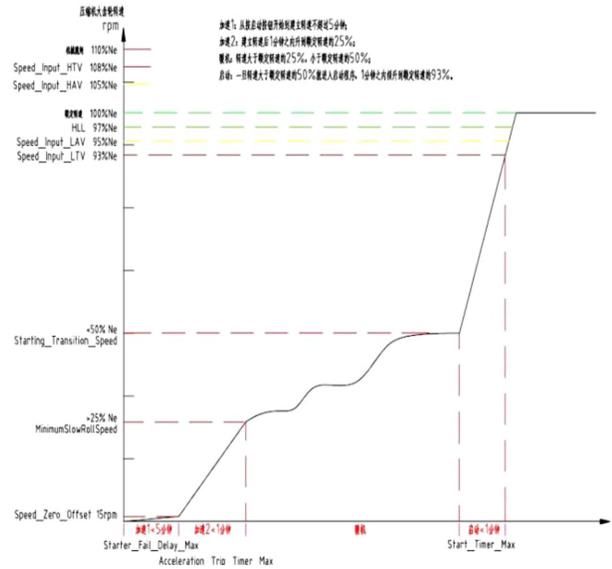


图 2 空压机启动升速曲线

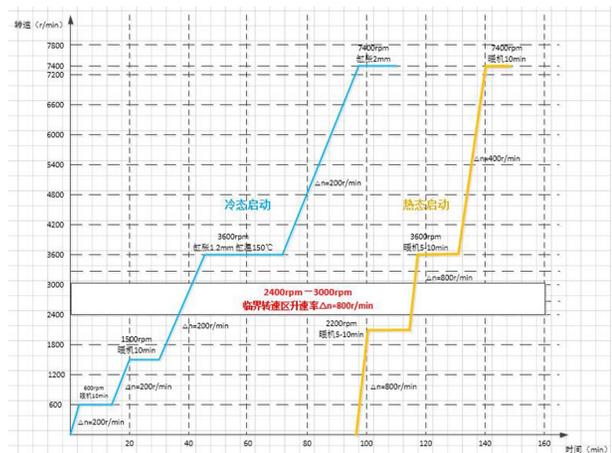


图 3 汽轮机启动升速曲线

第一、汽轮机盘车转速 18r/min,不满足空压机盘车转速要求 4r/min;第二、汽轮机冷态启动升速率 200r/min,不满足空压机快速升速区升速率(1775r/min、3404r/min)的要求;第三、汽轮机 600rpm、1500rpm 暖机转速与空压机 75-1850rpm 第一快速升速区升速要求冲突;

在机组热态启动调试过程中发现,汽轮机驱动空压机后汽轮机临界转速区(2400-3000rpm)存在前移现象,冲转过程中转速提升至 1800-2200rpm 期间汽轮机前后轴 Y 向振动出现突升现象,造成机组在 2200rpm 无法停留暖机,因此制定如下热态启动、冷态启动方案。

#### 4.1.1 热态启动

- (1)采用盘车变频降速的方式将汽轮机盘车转速由 18r/min 降至 4 r/min;
- (2)汽轮机驱动空压机以 4r/min 的转速盘车

40—60min 至偏心稳定；

(3)停盘车转速为零,机组以 800r/min 升速率升速至 3600rpm,其中 75—1850rpm 时升速率自动设为 1200r/min,升速时间控制在 90s 以内；

(4)转速 3600rpm 暖机 5—10min,机组以 400r/min 升速率升速至 7400rpm,其中 3700—7104rpm 时升速率自动设为 3400r/min,升速时间控制在 70s 以内。

#### 4.1.2 冷态启动

(1)脱开汽轮机齿轮箱与空压机联轴器；

(2)汽轮机按照冷态启动升速曲线单冲暖机至热态；

(3)汽轮机打闸至转速为零,连接汽轮机齿轮箱与空压机联轴器；

(4)机组按热态启动方式完成启动。

### 4.2 空压机加载及防喘振控制

空压机进气阀在空压机运行中起到调节机组进气量,使空压机保持恒定的排气压力,当到达喘振控制点后,进气阀停止关小,空压机旁通阀开始打开,

调节旁通阀的开度使排气压力仍保持在恒定值上。空压机将始终通过对进气阀和旁通阀的无级调节保持恒定的排压力,该过程为空压机加载控制。

空压机气体流道的几何尺寸及内部结构是根据设计工况确定的。当空压机在设计工况下加载时,压力温度和气量都在设计规范内,压缩气体在管道流道中流动通畅;当空压机进口气体流量突然减小或出口压力突然升高,空压机排气通道将受到阻碍,机组流量下降,系统中的气体产生逆流,在整个系统中产生了周期性的轴向低频大振幅的气流振荡现象,这种现象称之为喘振。

为了防止空压机进入喘振工况,需通过人为制造喘振工况的方式测试出空压机的喘振点,然后根据喘振点计算出喘振函数,确定空压机加载时的喘振区域,通过喘振函数设定空压机进气阀工作安全线,限制空压机靠近喘振区域运行。一旦发生喘振,控制逻辑及时动作,打开旁通阀,关小进气阀,空压机三级排气压力下降,快速脱离喘振区。

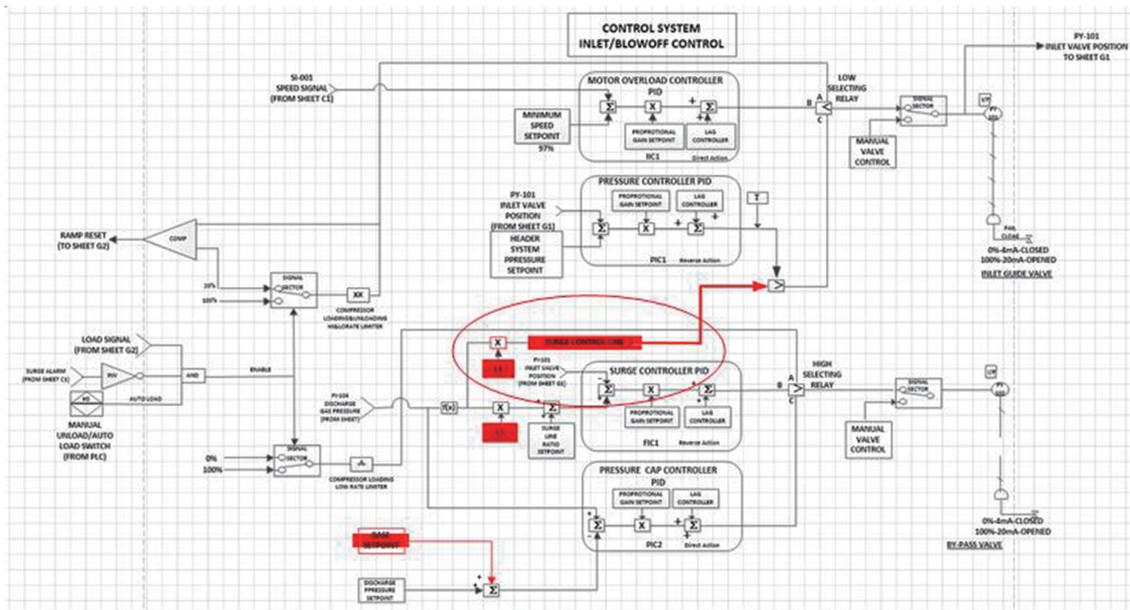


图 4 优化后控制方案

#### 4.2.1 空压机加载方式优化

空压机启动过程中,为保证空压机有一定的通流量,进气阀保持在一定的初始开度(本项目为 30%),确保每级排气压力为正压,旁通阀保持全开状态。

空压机原设计加载方式——首先提高三级排气压力 SP,至旁通阀缓慢关闭至全关,然后逐步提升

系统压力 SP,控制进气阀打开,逐步提升系统压力至目标值,该控制方式下进气阀与旁通阀自动无有效联动控制,空压机供气负荷调整范围较小、系统压力调整响应速度慢,且容易进入喘振区。

优化后控制方式——逐步提高三级排气压力 SP、系统压力 SP,旁通阀缓慢关闭、进气阀缓慢开启,两阀同时配合动作,逐步提升系统压力至目

标值。

#### 4.2.2 空压机防喘振逻辑优化

空压机加载后,旁通阀与进气阀依据喘振控制曲线提前控制,进气阀与旁通阀协调动作,保证系统压力稳定的情况下,使空压机运行在非喘振区域。

(1)旁通阀控制:将喘振函数曲线  $f(x)$  的 1.2 倍作为防喘调节 PID 的 PV,进气阀当前开度作为防喘调节 PID 的 SP,经防喘 PID 运算后与三级排气压力调节 PID 高选后输出,做为空压机旁通阀开度控制指令。当空压机进气阀关至小于喘振函数曲线  $f(x)$  的 1.2 倍后,防喘 PID 控制旁通阀提前开启一定开度进行排气泄压,以防止进气阀开度继续减小进入喘振区域。

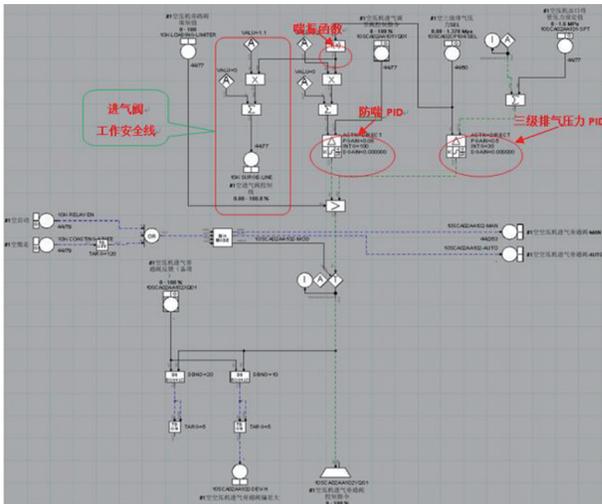


图 5 旁通阀控制

(2)进气阀控制:以喘振函数曲线  $f(x)$  的 1.1 倍作为空压机进气阀的工作安全线,控制进气阀最小开度,限制空压机靠近喘振区域运行,达到防喘振控制的需求。

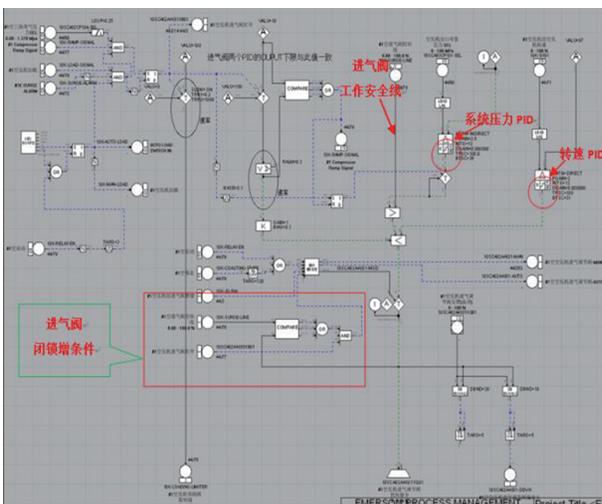


图 6 进气阀控制曲线



图 7 空压机优化后加载趋势图

#### 4.2.3 旁通阀 SP 逻辑优化

空压机加载时,进气阀 SP 为系统压力目标值,旁通阀 SP 为三级排气压力目标值,若由于人为等原因误将旁通阀 SP 设置小于当前系统压力后,将导致旁通阀因 SP 小于 PV 而逐步打开,进气阀因旁通阀打开系统压力下降而逐步开至阀门闭锁上限,系统压力无法维持,存在较大风险。

优化方案:将旁通阀 SP 设定为进气阀 SP 累加正向偏置 Bias,偏置设置范围限制为 0-0.1Mpa,如此,压力设定调整过程中旁通阀 SP 将大于等于进气阀 SP,避免因旁通阀 SP 设置不当引起空压机组卸载。

#### 4.2.4 增加转速拉回逻辑及功率闭锁增功能

透平空压机组为设计为定速运行,允许转速波动范围为 93%-108%额定转速,机组成功启动后,在首次加载对外供气管网冲压、正常运行中因外部负荷变动快速加载,或因汽轮机进汽蒸汽焓偏离设计值时,可能发生因汽轮机转速低于 93%额定转速而导致空压机组跳闸。相关优化如下:

(1)增加透平空压机进气阀转速拉回逻辑,当运行中转速波动至低于 95%额定转速后,触发进气阀闭锁增逻辑,同时进气阀转速 PID 将通过大选逻辑接管进气阀控制、回调汽轮机转速,防止汽轮机转速继续降低导致机组低转速跳闸;

(2)通过汽轮机焓降计算汽轮机轴功率,用于空压机进气阀闭锁增逻辑,控制转速至额定转速运行,防止汽轮机超负荷运行、转速继续下降导致空压机组跳闸。

### 4.3 喘振判断逻辑及喘振动作保护方式优化

空压机原喘振判断逻辑为机组正常运行过程中,第三级排气压力单点下降超过 14kPa/100ms 触发喘振报警,1min 内喘振报警次数累计超 4 次,触发喘振保护,引起机组跳闸。

本项目空压机为商业运营机组,为园区企业提供用压缩空气,对于机组可靠性要求较高,若机组判断喘振后直接跳闸,再次启动时间至少需 1 小时以上,启动时间过长,严重影响机组供气安全及企业的经济效益。

对此,在透平空压机三级气缸处增加 2 个压力测点,喘振判断逻辑优化为第三级排气压力“三取二”下降超过 114kPa/s 触发喘振报警,喘振报警触发空压机快速卸载,当进气阀、旁通阀完成卸载后,手动复位喘振报警后空压机重将新加载运行,整个

过程一般在 5min 内完成,对外供气恢复速度快,喘振保护动作快速、可靠,提高设备及对外供气系统可靠性。

## 5 结束语

根据国家节能减排、实施能源综合利用的要求,越来越多的工业集中区域开始投建大型压缩空气站,大容量透平空压机组作为压缩空气站主设备,其控制系统安全性与企业经济效益息息相关。

本项目采用 DCS 实现了空压机组的远方控制,彻底解决了原单片机控制策略、逻辑不透明、控制逻辑优化不便,数据历史、操作记录不完善、故障查找分析困难的问题,优化了透平空压机组启停操作,加载/卸载、防喘振控制、喘振判断、喘振保护、系统压力、排气压力调节等各个环节的控制策略,达到了透平空压机控制系统简单实用、易于维护,故障率低的目的,有效提高了机组供气的安全可靠性。

## 【参考文献】

[1]CENTAC 操作与维护手册

[2] 0-1004-2309-0000-00 N4.3-1.3 型 4.3MW 凝汽式汽轮机 安装使用说明书

作者简介:田育文(1987.08),男,甘肃 陇西,本科,工程师,电站热控自动控制