

乙烯装置 201J 裂解气透平压缩机防喘振控制 在 Tricon ITCC 系统中的实现

刘三廷

(中国石油兰州石化公司)

摘 要: 针对兰州石化裂解气透平压缩机, 介绍了北京康吉森 ITCC 系统防喘振控制原理及其在压缩机防喘振控制中的优势^[1], 其中裂解气压缩机防喘振控制是指当工作点越至防喘振控制线以内, 喘振控制器使用多种调节方式, 使压缩机工作点拉回至防喘振控制线以外, 达到保护裂解气压缩机目的; ITCC 系统采用工作点在防喘下移线以外使用 PID 控制, 防喘振下移线与喘振线之间开环控制, 喘振线左侧动作防喘振电磁阀等控制策略^[2], 该防喘控制策略为百万吨乙烯项目压缩机实施提供参考依据。

关键词: PID 控制; 开环控制; 三重控制; 防喘控制线; 喘振线

1 前 言

某乙烯装置 201J 裂解气压缩机 2006 年投用, 压缩机防喘振控制采用北京康吉森自动化设备技术公司 Tricon ITCC 控制系统, 系统于 2016 年 10 月由伍德沃德控制系统改造为 Tricon ITCC, 控制组件由冗余电源卡件、三重化冗余卡件、端子板、连接电缆组成; 该配置在系统存在硬件故障或者是外部干扰信号瞬间跃变, 可进行不间断的控制^[1], 确保压缩机的正常运行; Bently 3500 轴系检测系统通过冗余 MODBUS 通讯卡将轴振动、轴位移信号通讯至 ITCC 系统, 使轴振动、轴位移在 ITCC 操作站得以显示; 压缩机段间出入口温度、压力、透平壳体温度、振动、位移、透平转速通过冗余 4351B 通讯卡通讯至 DCS, 使压缩机轴位移、轴振动、压力、温度、流量等关键参数可在 DCS 系统显示; 压缩机轴位移联锁信号通过 Bently 3500 轴系检测系统继电器卡硬接线引入 Tricon ITCC 系统 DI 卡, 从而确保联锁动作的可靠性及稳定性。

Tricon 系统依据压缩机的出口流量、温度及压力, 入口温度及压力计算出压缩机的喘振线、喘振线右移 10% 得到防喘振控制线^[3]。如果工作点越过防喘振控制线, 设定点移动至防喘控制线后不再移动, 防喘控制 PID 调节器使用多种控制方式对防喘控制阀进行不断调节, 如果工作点无法被调整至喘振线外, 防喘电磁阀失电, 防喘振控制阀全开, 压缩机出口介质大量的回流至入口处, 确保压缩机的运行稳定。

2 防喘振控制的概念

喘振是乙烯运行二部乙烯装置 201J 透平裂解气压缩机的特性, 当该压缩机的入口流量降低至

设定值时，裂解气的正常压缩及输送过程被中断，裂解气体的排出不均匀，机身产生极为强烈的来回震荡，机体发出剧烈振动同时也会发出周期性来回震荡的吼叫声。201J 裂解气透平压缩机出、入口流量、出入口压力大幅度波动，伴随着出口管道，压缩机厂房巨大振动^[2]。防喘振控制器按 Tricon 控制策略组态的控制程序迅速打开防喘振控制阀，在迅速增加裂解气压缩机的入口流量同时确保了裂解气压缩机出口及入口流量的平衡。乙烯装置 201J 裂解气透平压缩机流程及防喘振控制流程图图 1 所示。

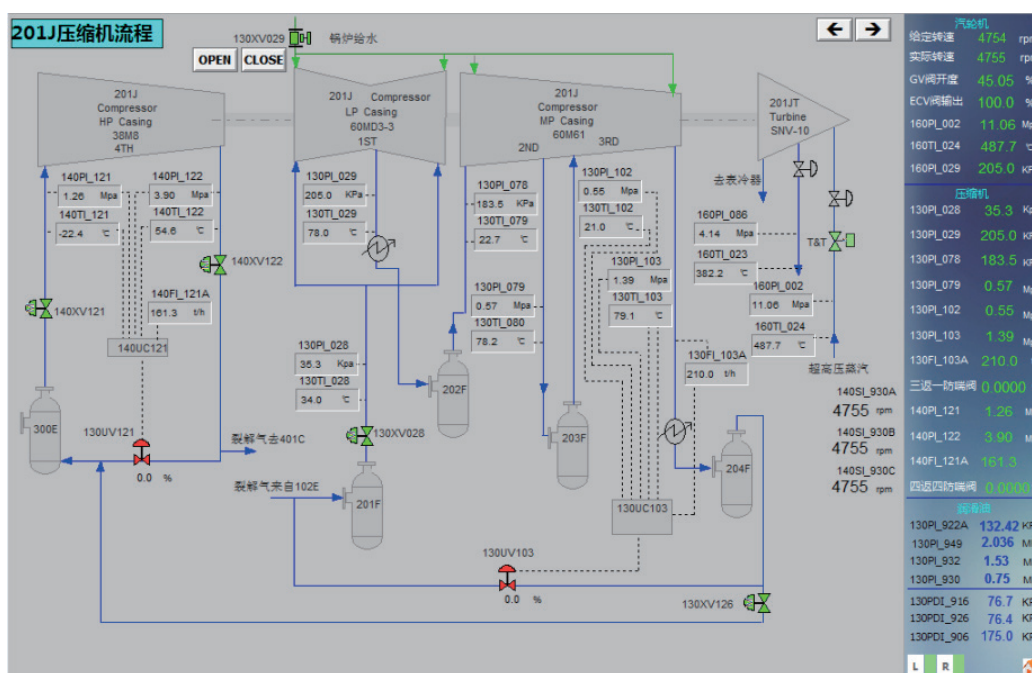


图 1 乙烯装置 201J 透平裂解气压缩机流程图及防喘振控制流程图

3 防喘振控制方案的实现

3.1 201J 裂解气压缩机防喘振控制简述

Tricon 防喘振系统是出口流量百分比 (H_c/P_s) 为横坐标、排出压力与入口压力的压缩比 (P_d/P_s) 为纵坐标建立的基本坐标系，根据乙烯装置 201J 裂解气压缩机不同转速下的多个喘振点做出喘振曲线，右移 10% 为乙烯装置 201J 裂解气压缩机防喘振控制曲线，工作点在坐标系时时移动，当工作点远离防喘振控制线移动，此时设定点在安全裕度线上下移动；当工作点靠近防喘振控制线移动，设定点依 1% 速率（速率在程序中可设置）不断减小，直到设定点与防喘控制线重合，设定点不再移动；当工作点移动到防喘振下移线，正常的 PID 控制器无法提供足够的响应，Tricon 系统防喘振控制器使用开环控制方式开始打开防喘振阀，而当工作点达到喘振控制线时，防喘控制阀全开。如果工作点越过喘振线，防喘振控制阀电磁阀线圈失电，防喘振控制阀气路切断，防喘控制阀全开；当工作点返回到防喘振控制线右侧，电磁阀线圈自动复位带电，防喘振控制阀慢慢关闭^[2]，因乙烯装置 201J 裂解气压缩机三返一、三返二、三返三防喘振控制回路参数不同，控制算法也略有不同，本文依乙烯装置 201J 裂解气压缩机三返一防喘振控制回路加以说明，乙烯装置 201J 裂解气压缩机三返一防喘振曲线图图 2 所示，图 2 中机组喘振线（红色线），防喘振控制线（绿色线），防喘振下移线也叫超驰控制线（黄色线）。

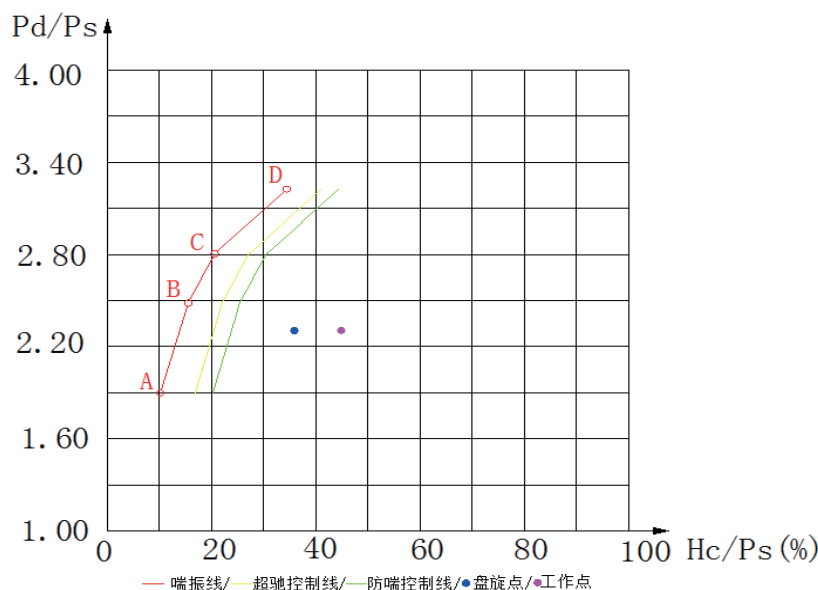


图2 乙烯装置 201J 裂解气压缩机三返一防喘振曲线图

本文依据兰州石化乙烯 201J 裂解气压缩机三返一 Tricon ITCC 系统内部控制程序的计算过程作逐说明。

3.2 201J 裂解气压缩机喘振线及防喘振控制线详细计算说明

3.2.1 Tricon 系统喘振线横坐标系计算

3.2.1.1 Tricon 系统出口流量计算

$$\text{计算公式: } M_{\text{FLOW}} = M_{\text{FLOW_MAX}} \times \frac{H_{\text{-PCT}}}{100} \times \sqrt{\frac{P_{\text{D}} + P_{\text{-ABS-COR}}}{P_{\text{FOB}}}} \times \frac{T_{\text{FOB}} + T_{\text{-ABS-COR}}}{T_{\text{D}} + T_{\text{-ABS-COR}}} \quad [3]$$

参数	描述	范围	单位	参数	描述	范围	单位
$M_{\text{FLOW-MAX}}$	出口最大流量	330000	Kg/h	P_{FOB}	设计工况压力	1550	KPa
$H_{\text{-PCT}}$	出口流量	0-330000	Kg/h	T_{FOB}	设计工况温度	82.5	$^{\circ}\text{C}$
P_{D}	出口压力	0-2000	KPa	$T_{\text{-ABS-COR}}$	出口温度修正	273.15	$^{\circ}\text{C}$
$P_{\text{-ABS-COR}}$	出口压力修正	101.32	KPa	T_{D}	出口温度测量	0-120	$^{\circ}\text{C}$

$$\text{参数带人公式: } M_{\text{FLOW}} = 3300 \times H_{\text{-PCT}} \times \sqrt{\frac{P_{\text{FO}} + 101.32}{1550}} \times \frac{355.65}{T_{\text{FO}} + 273.15} \quad [3]$$

依据 201J 压缩机三返一的出口流量计算，Tricon 系统程序搭建如图 3 所示。

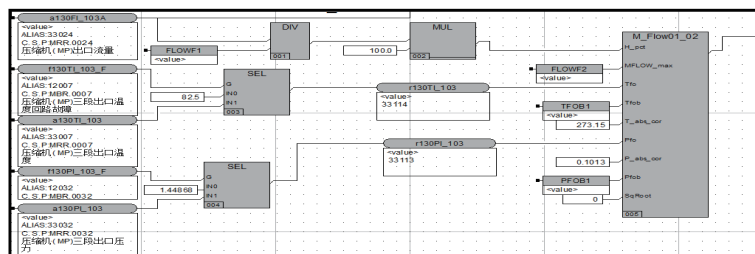


图3 Tricon 系统出口流量内部功能块组态图

3.2.1.2 Tricon 系统喘振线横坐标计算

$$\text{计算公式: } Hc / Ps = \left(\frac{M_{FLOW}}{M_{FLOW_MAX}} \times \frac{P_{SB}}{P_s + P_{-ABS-COR}} \right)^2 \times \left(\frac{T_s + T_{-ABS-COR}}{T_{SB} + T_{-ABS-COR}} \right) \times 100 \quad [3]$$

参数	描述	测量范围	单位	参数	描述	测量范围	单位
P_B	入口压力设计工况	606	KPa	T_s	入口温度值	0-100	$^{\circ}C$
P_s	入口压力值	0-1000	KPa	T_B	入口温度设计工况	23.4	$^{\circ}C$

$$\text{参数及 } M_{FLOW} \text{ 带入公式: } Hc / Ps = \left(\frac{M_{FLOW}}{330000} \times \frac{606}{P_s + 101.32} \right)^2 \times \left(\frac{T_s + 273.15}{296.55} \right) \times 100\% \quad [3]$$

依据裂解气压缩机三返一的出口流量计算, Tricon 系统横坐标程序搭建如图 4 所示。

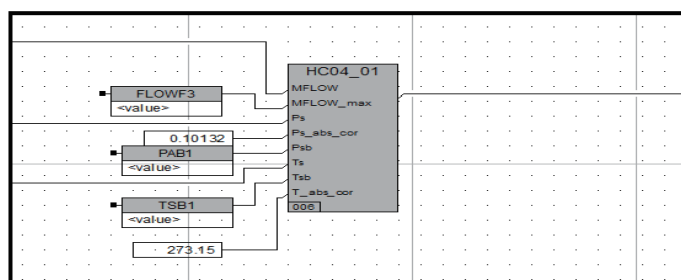


图 4 Tricon 系统出口流量横坐标内部功能块组态图

3.2.2 Tricon 系统工作点纵坐标压缩比计算

$$Pd / Ps = \frac{P_d + 101.32}{P_s + 101.32}, P_d \text{ 压缩机出口压力, } P_s \text{ 压缩机入口压力} \quad [3]$$

依据裂解气压缩机三返一防喘振计算算法, Tricon 系统纵坐标程序搭建如图 5 所示。

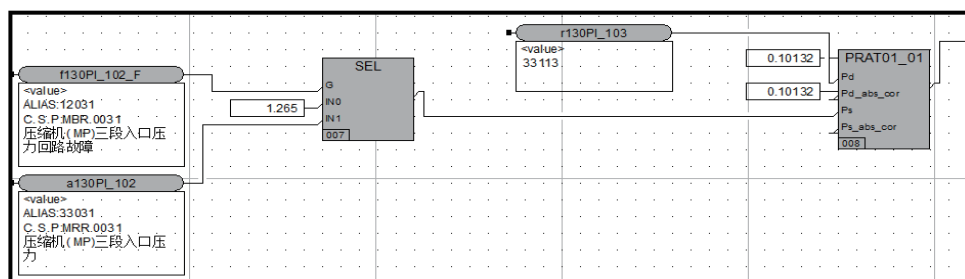


图 5 Tricon 系统压缩机防喘振纵坐标内部功能块组态图

3.2.3 Tricon 系统喘振线及防喘振控制线的计算

$$\text{喘振线方程: } [3] \quad Pd / Ps = K \times (Hc / Pc) + b$$

喘振线一般是一条由多个点组成多段线, 本程序中使用的喘振点是根据乙烯运行二部 46 万吨乙烯装置 201J 裂解气压缩机随机资料所得^[3]。201J 裂解气压缩机三反一防喘振控制四个喘振点坐标分别为 A(10.12, 1.91)、B(15.60, 2.44)、C(21.28, 2.81)、D(34.26, 3.23), 由喘振点得到的喘振线方程是:

AB段喘振线: $Pd / Ps = 9.50932 \times (Hc / Pc) - 8.04279$

BC段喘振线: $Pd / Ps = 16.53986 \times (Hc / Pc) - 25.19782$

CD段喘振线: $Pd / Ps = 30.90235 \times (Hc / Pc) - 65.55717$

喘振线方程向右平移 10% 得到防喘控制线是:

AB段喘振线: $Pd / Ps = 9.50932 \times (Hc / Pc) + 1.95721$

BC段喘振线: $Pd / Ps = 16.53986 \times (Hc / Pc) - 15.19782$

CD段喘振线: $Pd / Ps = 30.90235 \times (Hc / Pc) - 55.55717$

根据裂解气压缩机三返一防喘振控制线方程, Tricon 系统喘振线及防喘振控制线基本坐标系程序搭建如图 6 所示。

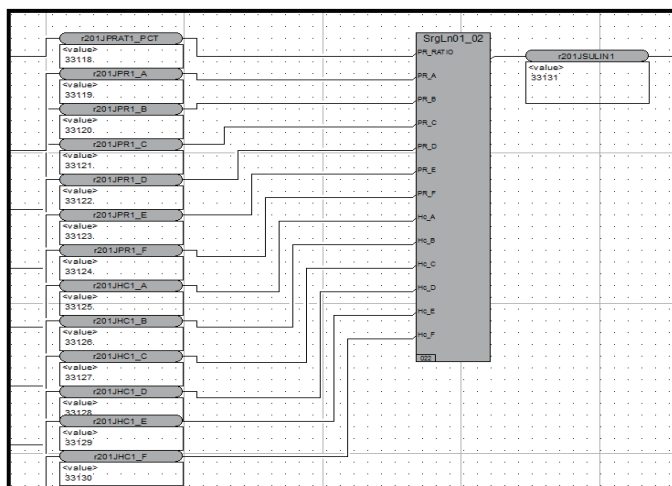


图 6 Tricon 系统压缩机喘振线及防喘振控制线基本坐标系内部功能块组态图

3.3 Tricon 系统防喘振控制实现方法

3.3.1 Tricon 控制系统喘振检测方案

当压缩机遇到较大的喘振时, 可采用增加喘振控制裕度, 确保压缩机运行在安全范围内。

安全裕度修正模块是当喘振发生时对安全裕度重新修正, 修正裕度 (RECAL_ATM) 加到固定安全裕度 (SAFETY_OP) 得到总安全裕度 (TOT_SAFETY), 即 $(TOT_SAFETY) = (SAFETY_OP) + T (RECAL_ATM)$, Tricon 系统安全裕度修正程序搭建如图 7 所示。

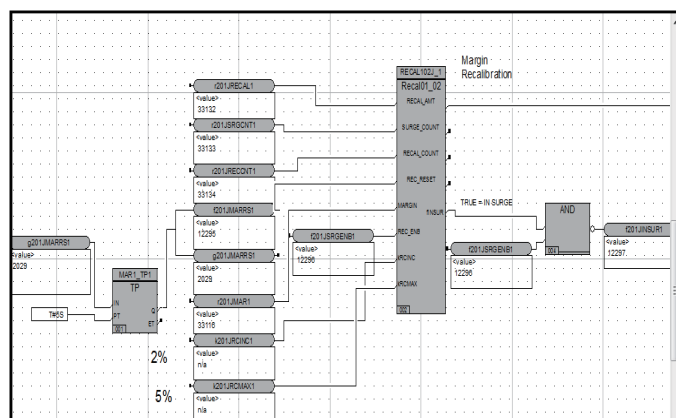


图 7 Tricon 系统压缩机喘振线安全裕度设置模块组态图

3.3.1.1 防喘振安全裕度修正条件

- ① MARGIN（工作点横坐标 - 防喘喘振线横坐标）小于 -1%（该值在程序中可以设置）。
- ② REC_ENB（修正使能位）为 1。
- ③ 防喘振控制器处于自动及半自动状态。

3.3.1.2 防喘振安全裕度修正过程

如果 $MARGIN < -1\%$, FINSUR（喘振标志位）置 1，HMI 画面中喘振报警灯红色常亮， $(TOT_SAFETY) = (SAFETY_OP) + KRCINC$ ，KRCINC（修正增加裕度，本程序设为 2%），即 $(TOT_SAFETY) = (SAFETY_OP) + 2\%$ ；此时， $SURGE_COUNT$ （喘振发生次数） $= 0 + 1 = 1$ ； $RECAL_COUNT$ （喘振修正次数） $= 0 + 1 = 1$ 。

如果 $-1\% < MARGIN < 1\%$, FINSUR、TOT_SAFETY、SURGE_COUNT 及 RECAL_COUNT 维持当前值保持不变。

如果 $MARGIN > 1\%$, FINSUR 置为 0、TOT_SAFETY、SURGE_COUNT 及 RECAL_COUNT 维持当前值保持不变。在 HMI 画面按喘振复位按钮可把 SURGE_COUNT、RECAL_COUNT 复位至 0，同时 TOT_SAFETY 回到初始设置值，Tricon 系统喘振检测模块曲线如图 8 所示。。

如果再次出现 $MARGIN < -1\%$, FINSUR 再次置为 1，TOT_SAFETY 设置为 $(SAFETY_OP) + 4\%$ ，SURGE_COUNT 置为 2，RECAL_COUNT（喘振修正次数）置为 2，以此类推，本程序中 TOT_SAFETY 最大设置为 $SAFETY_OP + 5\%$ ，本程序中 SAFETY_OP 设置为 20%，即 TOT_SAFETY 最大值为 25%，SURGE_COUNT 按喘振情况一直往上记录，RECAL_COUNT 最大设置值为 3。

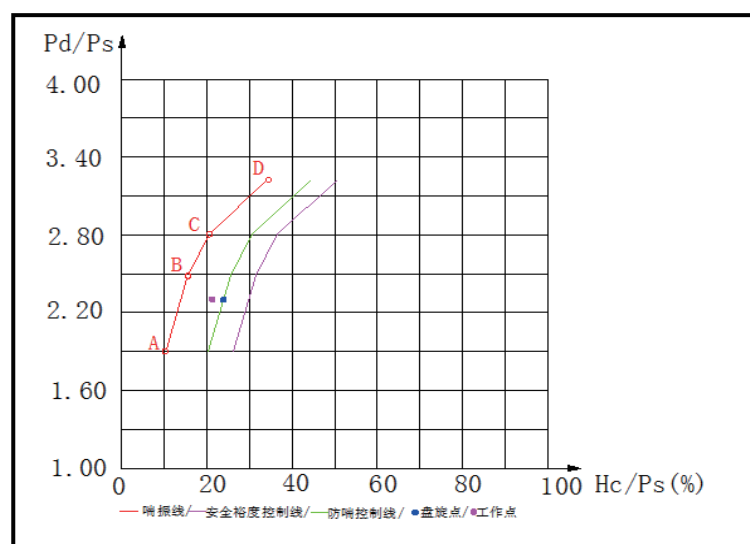


图 8 Tricon 系统喘振检测模块曲线

3.3.2 Tricon 控制系统设定点（盘璇点）跟踪方案

当乙烯装置 201J 裂解气压缩机出口流量增加或压缩比增大时，工作点远离防喘振控制线移动，设定点（盘璇点）设定 $SRG_SP = TOT_SAFETY$ （总安全裕度） $- kHOVER$ （盘璇裕度，本程序设置盘璇裕度为 5%）。

当乙烯装置 201J 裂解气压缩机出口流量增加或压缩比减小时，工作点靠近防喘振控制线移动，设定点（盘璇点）设定 SRG_SP 按照 $kHOV_INC$ （跟踪速率，本程序设置为 1%）减小，在这个过程中，控制程序依据防喘振控制线上对应的点 rSCL 与当前 SRG_SP 点高选后作为时时设定点 SRG_SP ；换言之，防喘振控器设定点（盘璇点）最多可向左移动至防喘振控制线对应的点上。

依据 Tricon 系统防喘振设定点跟踪方法搭建功能块如图 9 所示。

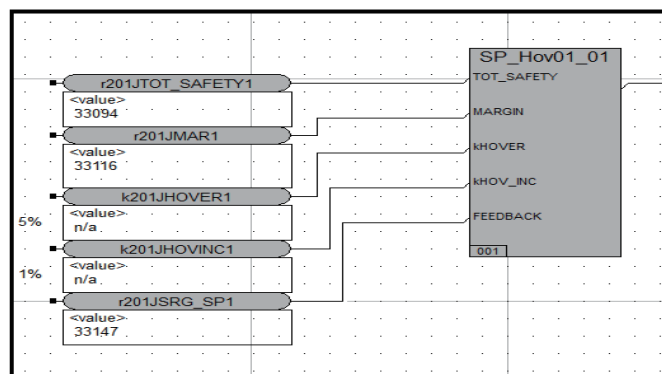


图9 Tricon 系统防喘控制器设定值逼近功能模块组态图

3.3.3 Tricon 控制系统防喘振 PID 控制方案

3.3.3.1 Tricon 控制系统防喘振 PID 参数调整方案

当工作点在防喘振控制线右侧且工作点大于等于设定值，使用正常比例度和积分时间（本程序中比例设置为 0.1，积分时间设置为 10S）。

当工作点在防喘振控制线右侧且工作点减去设定值小于 6%，比例值按 0.2/ 分的速率线性增加，但是比例值的变化被限制在 LIMIT1/LIMIT2（本程序中比例的值被设置为 0.1-3.0）。

当工作点在防喘振控制线右侧且工作点减去设定值大于 6%，比例值不再进行增加。^[2]。Tricon 控制系统防喘振 PID 参数调整程序搭建如图 10 所示。

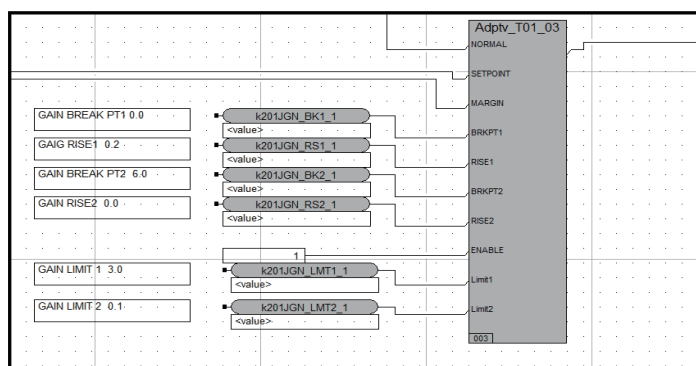


图10 Tricon 防喘振 PID 参数调整程序搭建模块组态图

3.3.3.2 Tricon 控制系统防喘控制方案

防喘振控制器 PID 设定值来自于设定值（盘璇点）跟踪模块，控制器的正反作用组态为反作用，调节常量为比例和积分两个变量。比例及积分来自于 PID 调整参数模块，微分时间设定值为 0，防喘振控制器设置为慢关功能^[2]，慢关的速率一般设置为 2%/SEC。Tricon 系统防喘振控制模块程序搭建如图 11 所示。

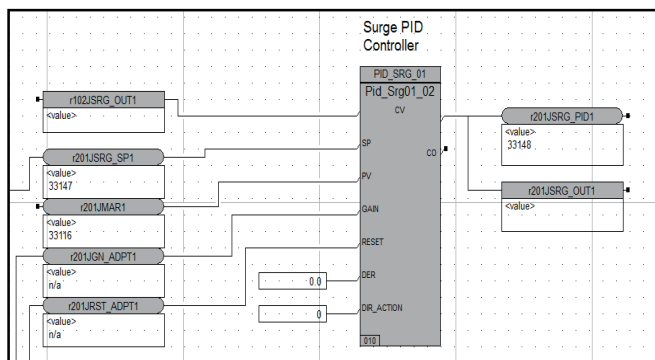


图11 Tricon 系统防喘控制模块搭建组态图

3.3.3.3 Tricon 系统防喘振控制开环控制模块

防喘振控制器的开环控制模块独立于比例积分调节模块。当工作点移动到防喘振下移线，正常的 PID 控制器无法提供足够的响应，Tricon 系统防喘振控制器使用开环控制方式开始打开防喘振控制阀。

防喘振控制阀开度为 0%-100%，当工作点在喘振线右侧 7% 时，PID 调节失效，此时 kSO_ENB=0，开环控制模块输出为 0%；当工作点在喘振线右侧 3.5% 时，开环控制模块输出为 50%；当工作点到达喘振线时，开环控制模块输出为 100%。

当工作点越过喘振线，开环控制模块直接作用于防喘振电磁阀，电磁阀线圈失电，防喘振控制阀气路切断，防喘控制阀全开。

Tricon 系统防喘振开环控制模块程序搭建如图 12 所示。

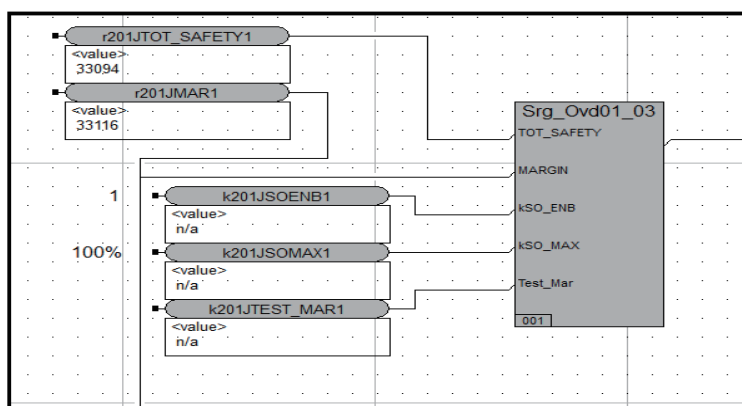


图 12 Tricon 系统防喘振控制开环模块组态图

3.3.3.4 Tricon 控制系统防喘振阀选择控制方案

防喘控制阀的工作有三种方式：自动、手动、半自动。

当 AUTO=1，防喘振控制器设置为自动；两个信号 SRG_PID（防喘控制器 PID）及 SRG_OVRD（喘振开环控制器）高选输出至防喘振控制阀。

当 AUTO=0 且 FULL_AUTH=0，防喘振控制器设置为半自动，自动输出信号与手动输出信号高选输出至防喘振控制阀。

当 AUTO=0 且 FULL_AUTH=1，防喘振控制器设置为手动，手动输出至防喘振控制阀。

Tricon 系统防喘阀选择控制模块程序搭建及最终三返一防喘振 HMI 画面的呈现如图 13 所示。

为确保生产的稳定，乙烯运行二部乙烯装置 201J 裂解气压缩机防喘振控制长期置于手动状态，此时，HMI 画面手动按钮显示为绿色，工艺人员观察工艺测量值、防喘振控制参数以及工作点、设定点在喘振曲线上位置后，在操作站上使用  按钮手动调整防喘振阀的开度，确保压缩机运行在稳定工况。

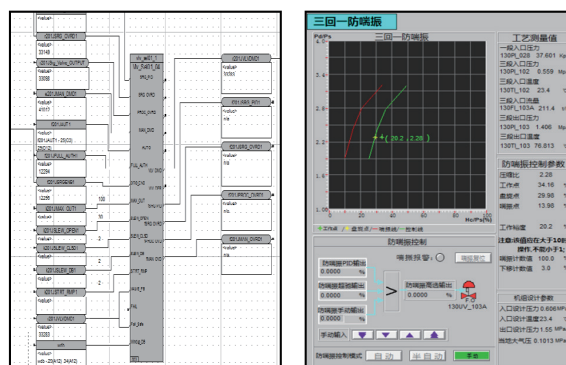


图 13 Tricon 系统防喘振阀选择模块组态图三返一防喘振 HMI 画面的呈现

4 结束语

北京康吉森自动化技术股份有限公司 Tricon ITCC 控制系统通过防喘振控制理念及控制策略在某乙烯装置 201J 裂解气透平压缩机、501J 乙烯透平压缩机、601J 丙烯透平压缩机三台大型机组实现了防喘振控制，确保了三台大型透平压缩机运行的连续性、平稳性、安全性，为装置的“安稳长”打下坚实的基础 [3]，也为兰州石化公司百万吨乙烯项目的顺利实施提供参考依据。

参考文献

- [1] 杨雪，杨得志. ITCC 防喘振控制系统在焦化压缩机组中的应用. 工业技术 1009-9859 (2017) 02-0142-05
- [2] 熊军，曹振涛. 康吉森 ITCC Tricon 在透平压缩机组在透平压缩机组防喘振控制中的应用《自动化与仪器仪表》2012 年第 5 期（总第 163 期）
- [3] 李征宏 兰州石化乙烯装置 ITCC 压缩机控制系统原理与应用 全国乙烯行业裂解气压缩机“安稳长”运行专题研讨会论文集 2009:38-49