

压缩机预选启动与负荷分配自动控制设计开发

朱同¹, 董飞², 刘媛¹, 董琼¹, 陈婉秋³

(1. 廊坊开发区中油龙慧自动化工程有限公司, 河北 廊坊 065001;

2. 中国石油天然气管道通信电力工程有限公司, 河北 廊坊 065000;

3. 中国石油管道局工程有限公司第一分公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: 长输天然气管道压缩机多机启动时, 单靠人工完成一系列操作, 耗时时间长, 检查判断不准确, 多机并行运行能耗较大; 为了提高压缩机多机启动效率和启机一次成功率, 自动识别启机不满足项, 快速投用负荷分配使机组做功效率最大化; 利用数据采集与监视控制(SCADA)系统, 对多台压缩机设定启动优先级、启动台数和负荷分配自动控制, 优化逻辑控制器(PLC)与压缩机组控制系统(UCS)通信; 创新实现了多机组一键顺序启机和启机后多机组负荷分配自动并网; 经实际应用满足了中俄东线天然气管道黑河首站4台压缩机多机启动要求, 降低了人力和能耗, 提高了生产运行效率; 为多行业多种输送介质的大型机械设备联合自动控制提供了丰富的参考价值, 对UCS与SCADA的控制整合具有一定的指导意义。

关键词: 压缩机控制; 预选启动; 负荷分配; 优先级; SCADA系统; 转速调节; 顺序启机; 站控PLC

Design and Development of Compressor Preselection Start and Load Distribution Automatic Control

ZHU Tong¹, DONG Fei², LIU Yuan¹, DONG Qiong¹, CHEN Wanqiu³

(1. China Petroleum Longhui Automation Engineering Co., Ltd., Langfang 065001, China;

2. China Petroleum Pipeline Telecom & Electricity Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China;

3. No. 1 Branch Company of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China)

Abstract: When the multiple compressors of long-distance natural gas pipeline will be started, a series of operations are completed manually, which takes a long time, and the inspection and judgment are not accurate, and the energy consumption of parallel operation of multiple units is large. In order to improve the efficiency of multi unit start-up and the success rate of one-time start-up of compressor, automatically identify the unsatisfied items of start-up, and quickly put load distribution into operation, so as to maximize the work efficiency of the unit. Using data acquisition and monitoring control (SCADA) system, setting the automatic control of starting priority, starting number and load distribution of multiple compressors, and the communication between logic controller (PLC) and compressor unit control system (UCS) is optimized. It innovates and realizes the sequential start-up of multiple units with one key and automatic grid connection of load distribution of multiple units after start-up. Through practical application, it meets the requirements of multi unit start-up of four compressors in Heihe initial station of China Russia east gas pipeline, reduces manpower and energy consumption, and improves production and operation efficiency. It provides a rich reference value for the joint automatic control of large mechanical equipment in many industries and transport media, and has a certain guiding significance for the control integration of UCS and SCADA.

Keywords: compressor control; preselection start; load distribution; priority; SCADA system; speed regulation; sequential start up; station control PLC

0 引言

天然气压气站场内有多台压缩机组并联运行, 生产运行人员启动多台压缩机时, 通常是在操作员工作站, 点击单台机组启动按钮逐台启动压缩机, 1台机组启动完毕后,

再点击下一台机组启动按钮启动第二台压缩机, 直至把所有需要启动的压缩机全部启动。压缩机启动后, 还需要手动调节各压缩机转速, 以保证压气站出站总压力满足要求。这样的人工操作耗费大量时间和人力, 调节速度慢, 并且在压缩机逐台启动过程中, 由于各机组自行运转, 互不联

收稿日期: 2021-01-05; 修回日期: 2021-01-23。

作者简介: 朱同(1987-), 男, 山东省新泰市人, 大学本科, 工程师, 主要从事石油化工自动化系统设计开发方向的研究。

引用格式: 朱同, 董飞, 刘媛, 等. 压缩机预选启动与负荷分配自动控制设计开发[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(8): 125-130.

动,即便多机组启动完毕后,有的机组转速过高,有的机组转速过低,有的机组频繁开启防喘振阀组,无法按照最高效率做功,能耗相当大。

目前,管道站场的生产运行值班人员数量逐年缩减,对自动化控制水平的要求逐年升高,通过计算机测控来降低劳动强度,甚至实现无人值守场站的需求越来越高。为此,针对压缩机这种核心大型机械控制,引入了压缩机预选启动和启动后负荷分配自动加载的控制功能,利用 SCADA 系统的 PLC 编制顺序启动与负荷分配控制程序,并通过 Modbus Tcpip 协议建立 PLC 与压缩机 UCS 系统的实时数据通讯,采用工控软件进行人机界面(HMI, human machine interface)开发。值班人员通过操作员站人机界面设定压缩机启动优先级和启动台数(如 2 台),设定出站压力或流量控制值,点击预选一键启机,SCADA 系统自动判断识别当前压缩机组状态,选择优先级较高的机组进行启动,当第 1 台机组启动完毕后开始启动第 2 台机组,并自动开启负荷分配控制功能,控制出站总压力,通过负荷分配控制算法与单机组 PID 自动控制的结合,使得两台机组转速与工作点接近一致,防喘振阀全关,出站总压力满足要求,能耗最低。启动 3 台以上机组也采用相同的控制策略。

1 系统结构及原理

压缩机预选启动与负荷分配自动控制功能的实现共需 3 个部分的协同配合,即操作员工作站、站控 PLC 与压缩机 UCS 系统^[1]。系统控制架构如图 1 所示。

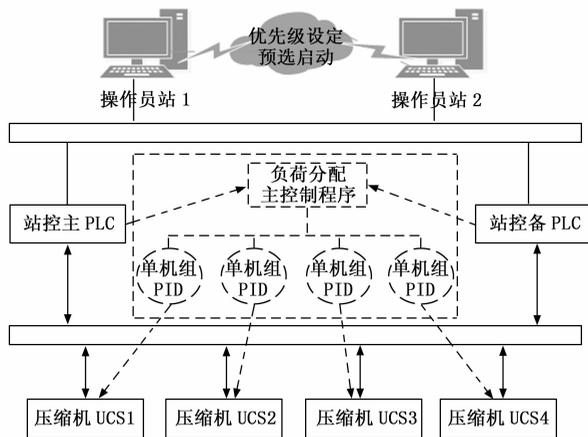


图 1 系统控制架构示意图

在该方案中,操作员站控制站控 PLC(即站控主 PLC 与备 PLC),站控 PLC 控制 4 台压缩机 UCS 系统,每台压缩机 UCS 系统都控制一台压缩机组,该压缩机组的所有数据监测和控制操作指令都由相对应的压缩机 UCS 系统具体执行,UCS 系统监测的压缩机工艺参数全部上传至站控 PLC,再由站控 PLC 上传至操作员站。

操作员站将压缩机优先级设定值、预选台数、压力设定值、负荷分配自动控制使能以及预选启动命令等下发至

站控 PLC 中,站控 PLC 接收到指令后对所控制的 4 套压缩机 UCS 系统进行优先级分配,并对 4 台压缩机状态进行识别,检测压缩机是否处于可用状态,如果所需启动的压缩机全部满足启动条件,则站控 PLC 首先对优先级最高的 1 台压缩机 UCS 系统下发启动命令,UCS 系统接收到启动命令后开始启动压缩机组,并实时上传压缩机启机状态参数至站控 PLC,当监测到该压缩机组启动完毕,站控 PLC 对优先级相对较低一级的压缩机 UCS 系统下发启动命令,开始启动第 2 台压缩机组,以此类推直至压缩机运行台数满足设定要求。压缩机预选启动命令与负荷分配自动控制使能指令下发至站控 PLC 后,将会产生 1 个逻辑标志位,将顺序启动与负荷分配控制紧密结合起来。

由于操作员站对站控 PLC 下发了压力设定值与负荷分配自动控制指令,激活了 PLC 中的负荷分配控制主程序,一旦有压缩机处于运行状态并且工艺输送流程导通,就开始进行出站压力的 PID 自动调节控制,同时开启负荷分配自动加载功能,当出站压力设定值较高,单台机组无法满足时,机组开始全速运转,等到第 2 台压缩机组运行后并网开启两台机组的负荷分配自动控制,即当第 2 台机组启动完毕后,站控 PLC 中的负荷分配主控制程序根据出站压力测量值与设定值的误差,进行主控回路的 PID 控制调节^[2],并与单台压缩机 UCS 系统单体 PID 控制和喘振控制进行结合,在确保压缩机工作点处于控制线范围内,不发生喘振前提下,由主控程序计算出各压缩机组转速增减值下发给压缩机 UCS 系统,UCS 系统驱动压缩机转速发生平稳变化,当第 3 台压缩机组并网开启 3 台机组的负荷分配自动控制后,负荷分配主控制程序依据上述控制策略进行 3 台压缩机转速增减值的计算,并下发至各台压缩机 UCS 系统。负荷分配自动控制最终实现 3 台压缩机组转速趋于一致,防喘振阀全关,工作点距离(工作点至控制线的距离)等距,在满足出站压力要求的前提下达到机组做功效率最大化。3 台机组负荷分配控制需经过多个周期的循环测控以及转速计算过程。

2 系统设计

2.1 硬件设计

采用浙江中控 G5 系列可编程逻辑控制器做站控主备 PLC 使用,CPU 选用冗余型 TCU521,两个主备 PLC 之间使用冗余光纤连接,选用 12 槽背板机架用于安装 CPU 模块及相关电源和通信模块^[3]。主备 PLC 机架采用 220 V 交流供电。在 G5 PLC 中进行编程组态,编写根据优先级设定的压缩机预选启动以及负荷分配主控制程序。

在主备 PLC 控制器机架背板上安装以太网通讯模块 COM523,对 COM523 模块进行组态编程并激活,使其成为站控 PLC 的组成部分,利用 COM523 模块建立站控 PLC 与压缩机 UCS 系统的数据通讯。压缩机的逻辑控制和负荷分配在站控 PLC 中的运算结果,都通过 COM523 模块下发至压缩机 UCS 系统。同时压缩机组的各项工艺参数和运行状态也都由 UCS 系统通过 COM523 模块上传至站控 PLC。



图 2 压缩机预选启动控制界面

COM523 与压缩机 UCS 系统通讯采用 modbus tcpip 协议。

2.2 软件设计与控制界面开发

操作员站安装国家管网调控中心研发的 PCS (process control system) 上位机软件, 在 PCS 平台上进行压缩机预选启动与负荷分配控制人机操作界面的开发, PCS 与站控 PLC 的数据通讯采用 modbus tcpip 协议^[4]。

2.2.1 压缩机预选启动界面开发

主要包括: 压缩机启动优先级设定及反馈、单台压缩机启动成功与失败报警、单台压缩机不满足启动条件报警、压缩机预选运行台数设定及反馈、压缩机当前运行台数反馈、无可用压缩机启动报警、压缩机预选启动成功与失败报警、压缩机预选启动控制执行中反馈、站控下发压缩机预选启动命令。压缩机预选启动控制界面如图 2 所示。

该控制界面极大地方便了生产运行人员对压缩机多机启动的一键控制, 可有效减少启机时间, 降低劳动强度。

2.2.2 负荷分配自动控制界面开发

在操作员站压缩机工艺控制画面上, 每台压缩机组都由自己的控制面板, 该控制面板是用于单台压缩机组喘振和出口压力控制的。为了使负荷分配控制与单台压缩机控制更加有效的结合, 将负荷分配控制界面与压缩机单机组控制面板融合, 在每台压缩机单机组控制面板上都可以对该压缩机进行负荷分配自动控制使能与屏蔽操作, 也可以进行进出站压力的设定, 同时监测进出站压力实时值。压缩机负荷分配控制面板如图 3 所示。



图 3 压缩机负荷分配控制面板

该控制面板为其中 1 台压缩机组单机组控制融合进负荷分配控制界面后的面板图。在面板最右侧性能控制区域, 有单机、并网、手动与自动 4 个按钮, 其中并网按钮就是该压缩机组是否参与负荷分配控制的使能按钮。当在启动压缩机之前, 在性能控制区域通过点击并网按钮, 就使能了该台压缩机 UCS 系统的负荷分配控制自动加载功能, 在压缩机启动后自动与其他已运行压缩机并网, 接收负荷分配主控制程序的指令, 变化转速控制出站压力。在面板的中间区域可进行负荷分配控制模式下出站压力与进站压力的设定及实时测量值反馈。并可进行出站压力与进站压力的调节切换。

3 方案设计与开发

以下内容详细阐述了该方案的设计思想以及控制功能的编程实现方法, 同时借助于千兆工业以太网, 大大提高了系统的稳定性。

3.1 压缩机优先级排序算法

在本设计中, 不再使用传统的优先级排列组合比较的方法, 而是使用优先级取最小值算法进行设备优先级的比较。

在站控 PLC 里进行功能块逻辑程序开发, 设计了一个子程序块, 采用优先级最小值选择算法, 即将人机界面设定的压缩机优先级 (只能下发不小于设备总数量的整型数字, 防止优先级设定值溢出) 数值进行比较, 进行最小值选择, 优先级数值越小, 表示该设备的优先级越高, 反之择优优先级越低^[5]。存在压缩机报警、故障或者已经运行的压缩机, 其优先级参与比较的实际值将自动修改成 100, 在优先级最小值选择算法里面最大的数值是 100, 这样该台压缩机的优先级将会是所有压缩机中最低的并且不可以参与联合启动。通过编制一个子程序最小值优化算法, 就把多台 (比如 4 台、6 台甚至 8 台) 压缩机, 较为方便的进行了优先级启动划分, 并将划分结果给到压缩机预选启动控制程序中, 标识出哪台压缩机优先级最高。当所有压缩机都不可用时, 给出无可用压缩机状态报警指示。

相比之下排列组合算法要求每台设备优先级都要与其他设备比较, 一旦设备较多, 程序编写起来就比较复杂, 采用最小值选择算法就较好地解决了这种问题, 并且对已运行的设备进行优先级的免疫, 防止已运行设备参与优先

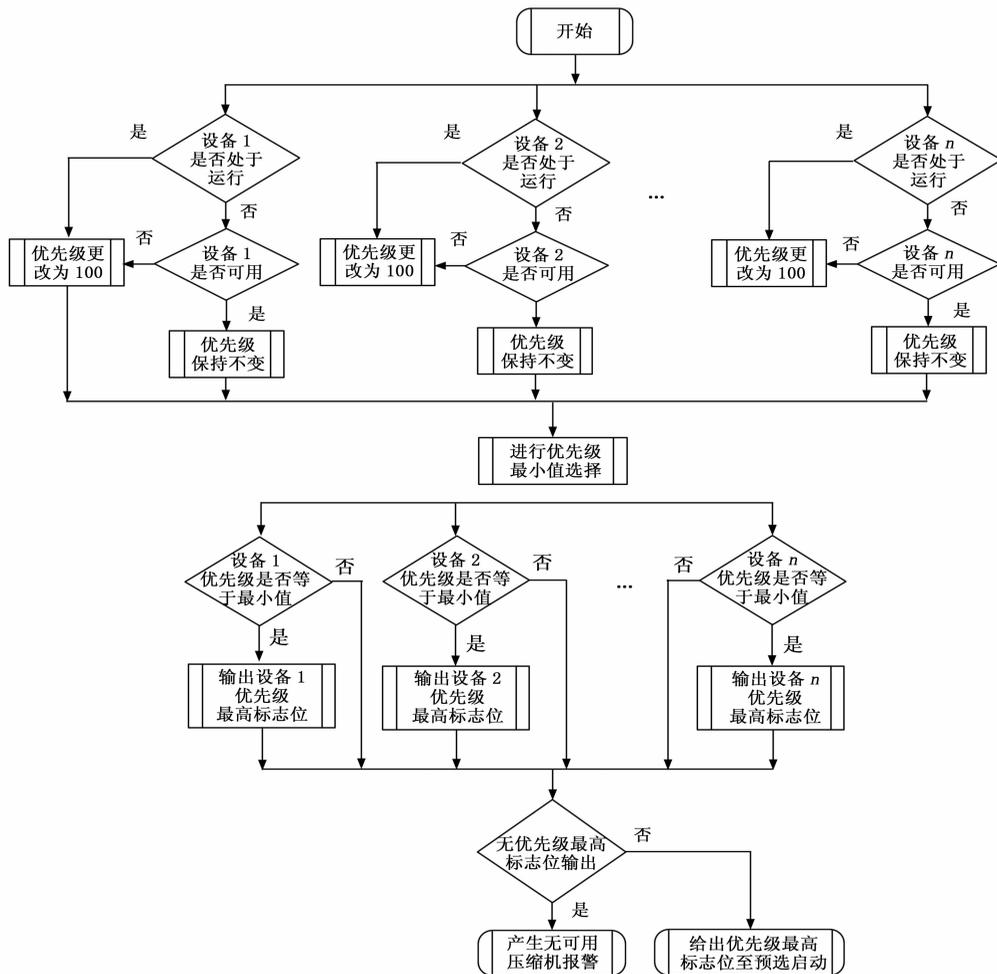


图 4 优先级最小值选择逻辑框图

级排序。图 4 为优先级最小值选择逻辑框图。

3.2 压缩机预选启动控制

通过压缩机优先级排序算法，选择出当前优先级最高的压缩机，并给出该台压缩机优先级最高标志位，等待启动压缩机。操作员站设定好预启台数后点击预选启动命令，压缩机预选启动程序开始执行，首先启动 1 台优先级最高的压缩机，当程序收到压缩机运行信号并且压缩机转速达到最低转速，表示当前压缩机启动完毕，程序计算当前运行压缩机台数并与预启台数设定值比较，当前运行台数未达到设定值时，程序重新开始对剩余压缩机组进行优先级排序选择，调用压缩机优先级排序算法（此时已经运行的压缩机其优先级已经变成了 100 即优先级最低，所以不会再参与优先级排序算法的判断）。在剩余压缩机中选择优先级最高的一台继续启动，直至当前已运行压缩机台数与预启台数设定值相同为止^[6]。

压缩机预选启动控制实现的功能主要包括：

- 1) 判断当前压缩机可用状态，压缩机故障、ESD 锁定或就地状态下定义为不可用，并记入不可用压缩机数锁存。
- 2) 当不可用压缩机数量多于设定预启台数后的备用压

缩机数量时（即不可用压缩机数量大于总台数与预启台数的差值），直接给出无可用压缩机报警。

3) 接收操作员站下发的优先级设定值、预启台数设定值及预选启动命令，调用优先级排序算法子程序，按照优先级排序，顺序启动各台压缩机组，并监测当前压缩机是否投用负荷分配自动控制，如投用则在启动完成后给出标志位自动并网加载负荷分配。

4) 给出压缩机预选启动成功或失败报警信号。

5) 压缩机预选启动命令发出后，对可用压缩机组发出公共复位命令，以使其辅助设施满足启动条件，避免因为一般公共报警而导致启动失败。

6) 优先级重复设定的诊断，当操作员站对两台压缩机设定了相同的优先级，优先级设定值重复筛查子程序开始启用，提示运行人员输入错误，并对前面设定的优先级数值保持在中间寄存器，不写入实际优先级设定值中，待运行人员修改完毕再重新写入。

3.3 压缩机负荷分配自动控制

在多台压缩机并行运行的工艺条件下，每台压缩机组都有自己的 UCS 控制系统，每台压缩机组都可以独立启动，独

立运行。当多台压缩机组并行运行时, 就需要负荷分配调节使得所有压缩机做功最有效、最大化^[7]。如果没有负荷分配, 多台压缩机运行时, 虽然能够保证最终出站汇管压力达到预期目的, 但一定会存在压缩机防喘振阀未全关的情况, 造成气体回流, 这部分做功就浪费了。如果人工手动调节的话, 费时费力, 且经验不丰富的工程师不一定能够完全调节好各个压缩机对工作点的距离。通过负荷分配自动调节, 可以实现并联工艺管线上型号相同的压缩机转速全部趋于一致, 工作点距离趋于一致, 各压缩机防喘振阀全关。以 2 台压缩机投用负荷分配为例, 对负荷分配控制方案进行介绍。图 5 为负荷分配自动控制调节架构图。

算出由此应产生的一个压缩机转速增量值^[9]。在压缩机预选启动完毕后, 由于先启动的 1# 压缩机已经全速运转, 转速会比 2# 压缩机大很多, 因此 1# 压缩机的工作点距离要比 2# 压缩机的工作点距离大很多, 两台压缩机子 PID 控制程序会根据工作点距离差值也计算出 1 个压缩机转速的增减值, 并且此时 1# 压缩机应降低转速, 输出减量值 $\Delta LB1$, 2# 压缩机应增加转速, 输出增量值 $\Delta LB2$ 。每台压缩机经由负荷分配主控制程序计算出的转速增量 ΔRpm 与单台压缩机子 PID 控制程序计算出的转速增量 ($\Delta LB1/\Delta LB2$) 相互作用后给出该压缩机转速的最终输出值。

因此经过此轮周期的负荷分配调节, 1# 压缩机转速最终变化值计算公式:

$$\Delta S_{p1} = K_{r1} \times \Delta Rpm - K_{r2} \times \Delta LB1$$

因此经过此轮周期的负荷分配调节, 2# 压缩机转速最终变化值计算公式:

$$\Delta S_{p2} = K_{r1} \times \Delta Rpm + K_{r2} \times \Delta LB2$$

本周期的负荷分配调节完毕后, 负荷分配主控制程序会重新计算出站压力误差值, 压缩机子 PID 控制程序也会重新对比双方工作点距离, 经过多轮周期的负荷分配调节, 最终实现两台压缩机转速一致, 压缩机工作点等距, 两台压缩机的防喘振阀全关, 全力对外输送气体介质, 做功最大化。

3.4 站控 PLC 与压缩机 UCS 系统的通信优化

由于负荷分配主控制程序编制在站控 PLC 内, 而压缩机子 PID 控制程序编制在 UCS 系统中, 并且二者之间需要进行高效的数据通讯, 以确保负荷分配指令的快速下达和 UCS 系统参数的快速上传。因此, 在站控 PLC 内编制通讯程序, 站控 PLC 主动去读取 UCS 系统里面的数据, 向 UCS 系统写入操作指令^[10]。站控 PLC 会与十几个甚至几十个第三方系统进行通讯, 所有第三方通讯如果不加以规划, 整个网络的通讯负荷会很大, 在编制通讯程序的同时, 将通讯资源向压缩机通讯方向倾斜, 并采用读取连续地址的方法减少数据读取指令条数, 以减少收发数据包的请求应答时间和应答次数。对于只监视不控制, 并且监视级别较低的第三方通讯数据, 则降低其通讯速率和扫描频率, 为负荷分配自动控制让出数据通讯的高速信道。

4 应用结果分析

4.1 预选启动控制逻辑应用结果

通过设置压缩机启动优先级和预启台数进行预选启动控制, 就把压缩机的多机启动完全交给了站控 PLC, 站控 PLC 会根据预先编制的检测控制程序, 严格检测后进行压缩机的多机顺序启动, 无需人工过多干预, 大大降低了劳动强度, 有效节约了压缩机启动时间。通过在中俄东线黑河压气首站的应用, 以启动 3 台压缩机为例进行了对比。

- 1) 操作次数从原来操作 3 次降低为操作 1 次;
- 2) 3 台压缩机平均总启动时间从原来耗时 4 个小时, 降低为耗时 2.5 小时;
- 3) 每次启动压缩机时需要人工量由原来 6 人/次降低为 2 人/次;

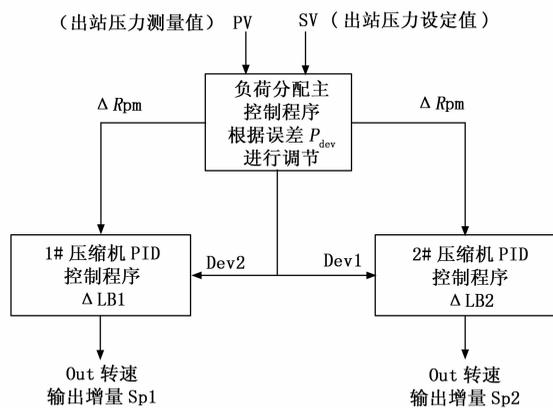


图 5 负荷分配自动控制调节架构图

负荷分配控制系统包含主控制器、1# 压缩机 PID 子控制器和 2# 压缩机 PID 子控制器 3 个部分, 其中主控制器利用站控 PLC 的 CPU, 在其中编写负荷分配主控制程序。压缩机 PID 子控制器利用压缩机 UCS 系统 CPU, 在其中编写子 PID 控制程序。负荷分配主控制程序将运算结果下发至压缩机子 PID 控制程序中, 驱动压缩机转速变化^[8]。

当两台压缩机都投用负荷分配自动控制, 设定了出站总压力设定预期值, 并且下发了 2 台压缩机的预选启动命令后, 负荷分配主控制程序开始启动。当出站压力设定值较大, 第 1 台压缩机启动后投入负荷分配控制并全速运转, 程序开始启动第 2 台压缩机, 第 2 台压缩机启动后负荷分配控制程序开始同时调节两台压缩机的转速, 此时第 1 台压缩机转速较高, 第 2 台压缩机转速较低并且其防喘振阀存在一定开度有能耗浪费, 负荷分配调节开始。

负荷分配调节存在多个周期, 在其中 1 个周期内的主控制器中, 负荷分配控制程序计算出站汇管总压力测量值 PV 与设定值 SV 的误差 P_{dev} , 并根据误差计算出一个转速增量值 ΔRpm 后下发至压缩机子 PID 控制程序中, 同时将两台压缩机性能控制线和工作点的距离 $Dev1$ 与 $Dev2$ 分别下发到另一台压缩机子 PID 控制程序中。压缩机子 PID 控制程序接收到转速增量值后并不立即将转速增量值加到转速输出上面去, 而是将本压缩机的工作点距离与另一台压缩机的工作点距离进行对比, 如果两台压缩机工作点对控制线距离不一致, 则产生误差值, 通过子 PID 控制程序计

4) 启动前压缩机故障识别率上升为了 100%故障识别;

4.2 负荷分配自动控制应用结果

预选启动后的压缩机负荷分配自动加载功能,使得多台压缩机运转后能够自行调节至相同工况,不再有能耗浪费情况,并且调节速度较之人工更加迅速,调节稳定性大大增强。通过负荷分配自动控制,运行人员只需在操作员站前实时监视压缩机的喘振和控制线即可,程序自动进行出站压力和压缩机工作点距离的调节。实现了一键预选联合启动压缩机。

图 6 为人工启动两台压缩机的工作点运行图,图 7 为预选联合启动两台压缩机的工作点运行图,通过对比发现同样满足出站压力要求,人工手动启动两台压缩机后始终有 1 台工作点处于控制线边缘,表示防喘振阀有一定开度,气体回流造成能耗浪费,另一台则转速很大,基本上都在靠转速较大的压缩机输气^[1]。而预选联合启动后,通过负荷分配控制程序的自动调节,两台压缩机工作点位置最终趋于一致,转速一致,防喘振阀全关,做功达到最大化。

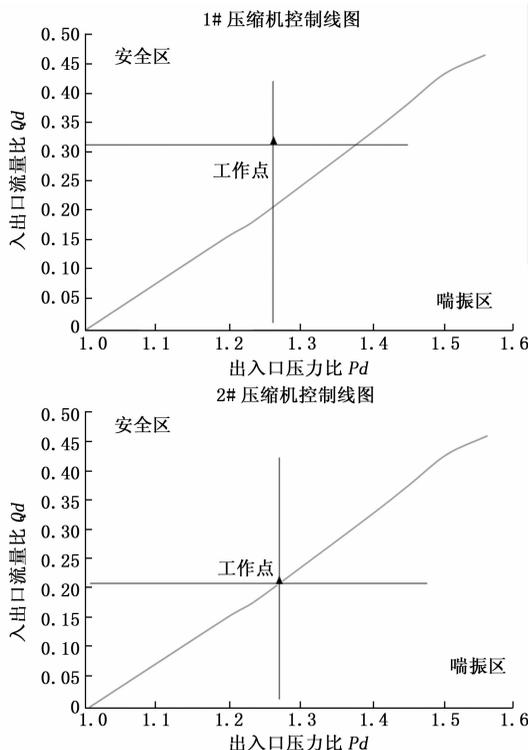


图 6 人工启动两台压缩机的工作点运行图

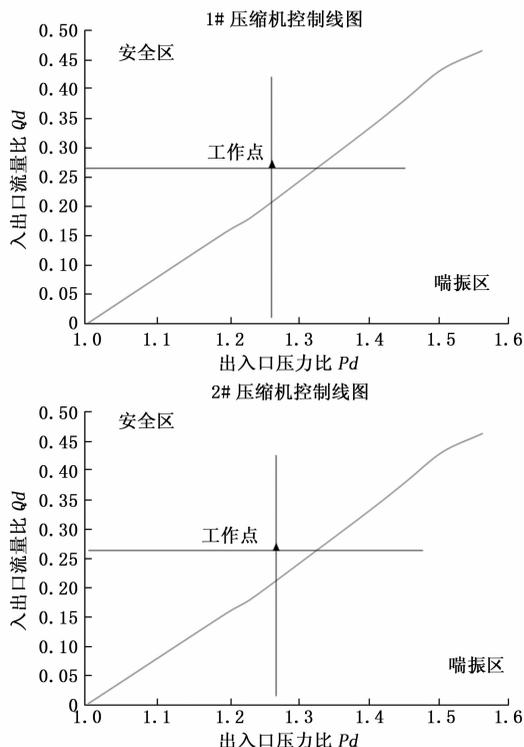


图 7 预选联合启动两台压缩机的工作点运行图

接收及外输站压缩机稳定性调节控制提供了丰富的参考价值,对站控 PLC 与压缩机控制系统的数据整合与共享提供了一定的指导意义,也为各类大型机械设备的多机顺控提供了借鉴与参考。

参考文献:

- [1] 刘申英紫,汪惠芬,刘长安. 基于 PLC 技术的机械装配工作台自动控制系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2020 (8): 68-71.
- [2] 廖勇,陈继斌,过李娇,等. 基于模糊 PI 控制的光伏直流变换器控制策略研究 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (4): 100-104.
- [3] 秦常贵. PLC 控制系统设计原则与步骤及安全可靠分析研究 [J]. 工业控制计算机, 2020, 33 (6): 138-140.
- [4] 赵国辉. 中俄东线天然气管道工程 SCADA 系统的设计与实现 [J]. 油气储运, 2020, 39 (4): 379-388.
- [5] 杨丛彦,赵丹,丁国良,等. 基于温度优先级的并联双蒸发器冰箱的控制策略 [J]. 化工学报, 2016, 67 (s2): 202-207.
- [6] 林育兹,阳宾,许英杰,等. 可编程控制器基础与逻辑控制 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [7] 王磊. 天然气长输管线增压站压缩机扩容增输的控制解决方案 [J]. 通用机械, 2018 (1): 27-29.
- [8] 卢军,程诗卿,黄海波,等. 无刷直流电机自适应调速控制系统的設計 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (11): 62-65, 69.
- [9] 左国兵. 恒定转速离心式压缩机智能化节能控制 [J]. 石油化工自动化, 2018, 54 (1): 66-68.
- [10] 侯文放,王辉,曾波. 数据中心网络中基于传输速率分配的 TCP 协议 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (3): 227-230.
- [11] 朱凯华. PLC 在离心式压缩机防喘振控制系统中的运用探析 [J]. 中国设备工程, 2018 (10): 138-139.

5 结束语

综上所述,通过压缩机预选启动以及负荷分配自动控制,有效提高了压缩机控制稳定性和操作便利性,大大降低了压缩机能耗。在站控 PLC 内进行压缩机预选联合启动和负荷分配控制的编程,省去了 1 套压缩机负荷分配控制系统,使得多台压缩机启动后无需人工干预,直接自动加载负荷分配控制功能。对于 5 台及以上压缩机并联工艺下以及并联压缩机组规格型号不一样的情况,其预选启动和负荷分配控制仍需进一步研究。为大型天然气场站、LNG