

天然气管道电驱压缩机组控制系统的设计与研究

周少成 詹国东 方俭杰（国家管网集团广东运维中心（广东省管网），广东 广州 510900）

摘要：在传统的石化企业中存在压气站控制系统的架构种类繁杂等问题，其故障点较多且维修量较大，这些问题直接阻碍了压气站控制系统的正常运行。本文从电驱压缩机组控制系统进行分析，对电驱压缩机组高效可靠运行进行智能化管理及优化，保证其运行的可靠性，通过对控制系统网络结构设计及压缩机组启机时序控制步骤设计，从实用、经济性等方面对传统压气站控制和融合后的压气站进行对比分析，分析得出融合后压气站的优点，以期对电驱压缩机的发展提供理论借鉴意义。

关键词：电驱压缩机；系统控制；系统设计；可靠性

0 引言

随着社会经济的发展，我国对于石油能源的需求日益增加，在过去的一段时间内，我国石化产业呈现出跨越式发展的态势，石油管道的敷设里程数快速增长，天然气管道的核心设备——电驱压缩机组的保有量逐年增加，因此了解电驱压缩机的机组控制系统和其应用现状对于天然气管道的机组选型及应用有着重要的意义。作为天然气管道输送的动力，电驱压缩机组发生非计划故障停机将造成管网输送水力系统波动，影响到上下游输量、压力等工况，造成停输、减产及无法保供等后果。因此，需要结合电驱离心式压缩机组的特点、各系统的关键控制点、历史故障数据及专家评分对机组失效进行综合风险评价，最终实现对机组运行、维护、检修的科学指导。

1 电驱压缩机组控制系统概述

伴随着国际形势的变化，天然气的价格不断上涨，而天然气管道中的核心设备——电驱压缩机，在技术性、经济上呈现出明显优势，因而得以广泛应用与发展（图1），其具有易于维护、可以远程控制等优点，同时对环境的污染较小，因此在我国一些电力充足的地区普遍采用大功率的电机驱动离心压缩机。

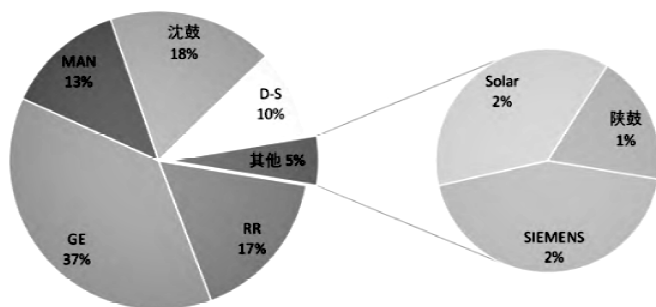


图1 压缩机制造商分布

电驱压缩机组的控制系统主要包括机组振动检测

保护系统、电机控制系统、变频器控制系统、离心压缩机控制系统等，电机控制系统包括正压通风控制、电机润滑油控制、电机水冷系统，离心压缩机控制包括压缩机润滑油控制、防喘振控制、机组负荷分配控制以及干气密封系统等。电驱压缩机组控制主要通过局域网络与站控系统进行数据交换，站控系统会将机组的运行数据传输到管道调度控制中心进行远程诊断，同时可以接收调度控制中心的调度命令，如图2所示为常规的电驱机组控制系统的拓扑组成图。

当前我国的电驱机组已经完全实现国产化，同时具备电机驱动控制系统的配套能力，在压缩机的防喘振控制、多台机器负荷分配控制配套方面均有较好的能力。但是部分进口的电机驱动机组控制硬件难以适应当前软件需求，同时防喘振算法功能落后，导致目前进口的电机驱动机组控制故障停机次数越来越多，基于上述原因我国逐步开始对进口电驱机组进行更换。

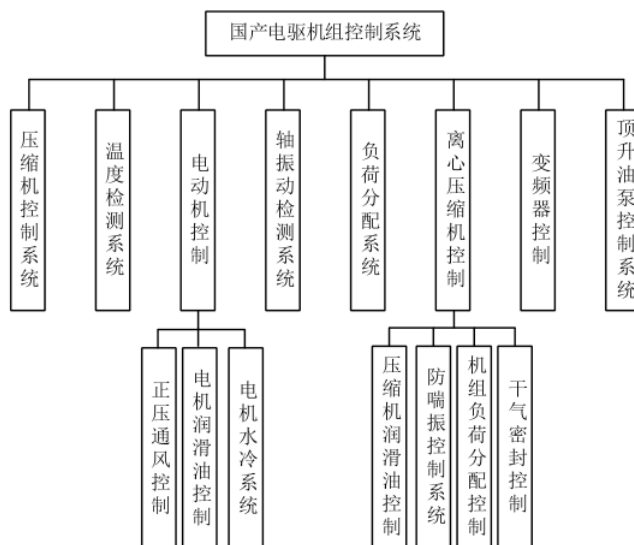


图2 电驱压缩机控制系统拓扑图

2 电驱压缩机组控制系统设计

当前天然气的长距离输送管道采用的大功率离心式压缩机,通常采用的是燃气轮机驱动与变频电机驱动两种驱动方式,不管是采用何种方式,在技术上都需要满足天然气管道的运输要求。电机驱动的方法跟工况环境下的供电条件紧密相关,电机驱动所需要的能源主要依靠外部电网获得,对于外部电网的依赖程度较高。燃气驱动主要依靠的能源是天然气,对外部的依赖程度相较于电机驱动依赖度更低,不过对于供气需求更大。从维修周期而言,一般电驱方式的设备大范围的检修周期为11年左右,需要的维修时间较短,需要的维护费用低于其他方式,但是受制约的要求较多,其需要外部电网的供电配合,同时需要供电部门定期开展相关的维护工作。燃气驱动的设备检修周期为5年左右,维修周期较电机驱动短且维修和维护费用都较高。从运行的可靠性来说,燃气机组驱动的运行时间/停机次数总数低于电机组驱动,不过不同的驱动形式都有自身的优劣,不同工况、不同需求的站场需要根据综合经济分析确认相关的驱动方案。

2.1 控制系统网络结构设计

电驱压缩机组控制系统设计主要包括两方面的设计,分别为UCS系统和PLC系统,如图2所示,电驱压缩机组控制系统以终端的总线通讯及工厂的总线通讯结合光纤环形进行连接进行数据的交互。以西门子PCS7分散性控制系统为例,分散式的系统全部集成在PLC控制柜中,由电机控制中心、变频器控制、电缆监测等几大部分组成,可以对压力、温度、转速等设备参数进行实时监控。操作人员可以通过机组的控制系统对机组的各个子系统进行检测,当机组单机运行时,工作人员可以通过参数设定(如出口压力、出口温度等)满足压缩机的正常运行,也可以对多台机组的运行进行控制,当输出参数达到设定值时在操作平台可以得到相关的参数曲线。

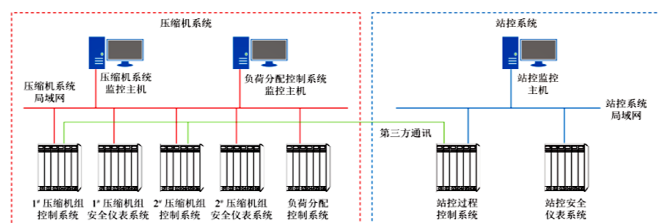


图3 压气站控制系统架构示意图

在设计过程中,需要对整个站场进行评估、论证,再对站场架构进行整合优化,其中站场主要由过程控

制系统、安全仪表系统以及站控系统几大系统组成,如图3所示,其主要功能是对压气站工艺现场的运行设备进行实时监控,并且收集设备控制、工艺保护的各項参数。在整合方面,主要包括对压缩机的控制系统对机组单机安全仪表及过程控制系统的合并,从而使得设备的紧急停机需求在过程控制中得以实现。

2.2 压缩机组启机时序控制步骤设计

在压缩机组控制系统设计中,机组的启机时序设计是一个难点,需综合考虑各个设备初始状态,并按照一定的启机逻辑实现机组的启动,还需充分考虑启机过程的异常情况,对机组进行启机过程急停及复位。

2.2.1 启动时序激活,需以下条件:

- ①具备启车条件,比如变频器准备就绪、干气密封已投用;
- ②选择HMI或SCS启动;
- ③联锁、正常停车或入口阀、出口阀启动失败复位启动激活时序。

2.2.2 启机时序

- 时序1: 打开润滑油空冷百叶窗;
- 时序2: 启动电机外冷系统,运行信号回馈后;
- 时序3: 测试事故油泵、辅助油泵、主油泵;
- 时序4: 启动主顶升油泵;
- 时序5: 打开加载阀,对机组进行升压;
- 时序6: 平压后打开入口阀;
- 时序7: 入口阀全开后关闭加载阀;
- 时序8: 打开出口阀;
- 时序9: 出口阀全开到位后进行启动条件二次确认,如果二次确认满足条件,那么进行高压合闸;
- 时序10: 启动变频器;
- 时序11: 启动变频器后,进入到暖机转速;
- 时序12: 暖机后,转速继续升速到达最小运行转速,达到后启动时序结束。

2.3 机组保护设计

电机过载保护设计。在实际运行过程中,为了防止电机过载导致跳闸停机,对变频器的输出功率进行限制,让电流值不能超过额定电流。为达到此目的,通常对变频电机设置一个最大的电流限定值,这个限定值会低于额定的电流值。当电机的电流超过额定电流值,给出过载预警,持续一定时间以后,预警仍然存在,压缩机控制系统通过算法稳步降低机组转速,从而降低电机电流,避免过载停机。在此过程,如果降低转速过快,往往会导致机组喘振,通常是降低转

速与打开防喘阀开度配合使用。

机组参数监测系统设计。参数监测系统主要检测机组振动、转速、轴承温度等方面参数,当机组运行异常时,实现机组预警及联锁停机。为了保证检测的可靠性,一般在一个检测点位安装双探头,只有当两个探头检测值同时满足停机设定值时,机组才会联锁停机。监测系统应该具备抗干扰能力强、检测连续准确、数据储存等功能,控制器具备电源、处理器冗余功能,模块支持热拔插设计。

3 控制系统的融合与效果分析

在控制系统的设计阶段需要对整个系统进行评估和分析,为保证系统的安全性和提升系统的可靠性,一般需对系统网络进行网格划分,将其分为控制网络和设备网络两种类型。控制网络采用的协议为 Modbus TCP 协议,在设备内网进行通信协议后,网络会将各个系统进行串联从而实现交互;压缩机组辅助设备的状态、设备参数及逻辑条件等采用通讯线进行软传输,启动和停止等重要信号则采用硬接线连接的方式进行传输。站控系统 with 压缩机组的 HMI 进行融合对接,只保留站控系统 HMI 用来监视机组运行状态。对压缩机组控制系统进行调试后,将其与站控系统上的参数进行统一显示,两种系统交互融合后可以在站控系统上进行集成,融合后的系统具备一键启停等功能,从而使得压缩机本体及辅助设备进行单独控制。在电机润滑油流量开关信号的自动复位方案可以采用在供油正常时传送的软硬件传送电机流程的开关复位信号到 PLC 柜,当故障信号发生复位后变频器会达到伺应状态,在电机监控系统 PLC 不能发生自我保持故障时油系统启动及流量满足要求以后故障信号会自动小时,此时的变频器 PLC 会向机组的控制系统发出准备启动电机的信号。

与可以满足使用需求的传统压气站相比,融合后的压气站有着明显的优点,在设备上减少了 HMI 软硬件、实时监控主机及控制器,并减少了压缩机单机的负荷分配控制系统控制器及安全仪表控制器,节约了大量的软硬件初投费用,减少了交互工作的连接访问次数。传统的压气站主要依靠单机控制系统、负荷分配控制系统以及站场控制系统串联进行数据交互,融合后的压气站可以通过站控主机进行过程监控,从而实现通讯过程的简化,有效节约了网络使用带宽,减少网络使用的故障;设备网络与控制网络各自独立,使现场设备控制更具有可靠性,在多维度上实现有效

控制,更好地避免了网络设备感染病毒的风险。除此之外,融合后的压气站更有利于操作人员的维护维修,大大降低了运维成本。

4 结论

随着电驱压缩机组控制技术的不断推进,天然气管道的输送正朝着智慧化方向不断迈进。最大化的发挥管道及压缩机的系统效能需要加强研究设备的一体化,作为天然气管道的核心设备——压缩机的智能化管理水平决定了天然气管道建设水平。本文分析电驱压缩机组控制的相关要求,从实用性、经济性等方面对传统压气站控制和融合后的压气站进行对比分析,得出融合后压气站的优点。在进行经济性比选时,要结合国家的政策、电价、气价等综合因素进行分析,综合考虑设备机组的维修运维费用、电气器件的使用寿命等,从而对电驱压缩机组控制系统的状态检测、能效评估及故障预警等进行方案改进,提升智能化管理水平。

参考文献:

- [1] 章博. 高含硫天然气集输管道腐蚀与泄漏定量风险研究 [D]. 青岛: 中国石油大学, 2010.
- [2] 杨德彪. 管道湿陷性黄土灾害风险评价技术研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2014.
- [3] 黄泽彬. 基于 FMEA 和 ALARP 的南海东部模块钻机顶驱系统风险分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017(19):91-93.
- [4] 任荣强, 吕强盛, 朱呈林. 快速切换装置在 400V 系统中的应用 [J]. 电世界, 2018(9):18-20.
- [5] 王昕. 西气东输管线变频电驱压缩机组变频调速控制系统设计与实现 [D]. 沈阳: 东北大学, 2018.
- [6] 唐小江, 李华. 电驱压缩机组控制系统的整合 [J]. 油气储运, 2018, 37(7):7.
- [7] 李斌. 电驱压缩机组控制系统的设计与研究 [J]. 化工管理, 2017(32).
- [8] 魏琦. 长输管线天然气变频电驱压缩机控制系统的设计与实现 [D]. 沈阳: 东北大学, 2012.
- [9] 宫俭纯, 高帅, 于祥春, 等. 海洋石油平台电驱往复式天然气压缩机撬内控制系统 [J]. 化工自动化及仪表, 2018, 45(10):5.
- [10] 马凯, 张庆, 赵林涛, 等. 电驱离心管线压缩机先进控制方法及应用 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(5).