

天然气处理站自控系统设计

刘 朋 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257026)

摘要: 结合天然气处理站的工艺流程及安全运行、高效管理等需求, 构建采用以 DCS、SIS、GDS、FDS 等系统为核心控制系统, 采用先进的火气探测、智能设备管理、高级报警、先进控制、智能巡检等技术, 实现处理站内过程监测控制、安全连锁、火气预警、智能管控等业务, 保证工厂的安全平稳运行, 提高经济效益。

关键词: 天然气处理站; 控制系统; 火气检测; 智能设备管理; 先进控制; 智能巡检

0 前言

天然气处理站是气田生产过程的中心处理站场, 负责接收来自各地面集输系统来气/来液, 进行过滤分离、净化处理, 生产出合格的天然气输往下游, 站内通常设置进站分离、脱硫、脱碳、脱水、增压外输等流程, 部分处理站根据需要还可能设置凝液回收、硫磺回收、定量装车等流程, 同时设置消防给排水、污水处理、热工、仪表风等公用工程, 站内流程相对复杂、测控点及控制回路多、易燃易爆介质分布广泛, 对于控制精度、控制水平有较高的要求, 设置一套先进可靠的自控系统, 是实现天然气处理站流程控制、安全运行的重要保障, 具有十分重要的意义。

1 控制系统

为满足天然气处理站过程控制、安全连锁、火气检测等控制需求, 处理站控制系统设置独立的集散型控制系统 (DCS)、安全仪表系统 (SIS)、可燃及有毒气体检测报警系统 (GDS)、消防检测控制系统 (FDS)、火灾自动报警系统等系统。各系统的配置及功能如下:

1.1 集散控制系统 (DCS)

DCS 系统主要对进站分离、脱硫、脱碳、脱水、凝液回收、丙烷制冷、储存装车、外输气增压、硫磺回收等生产装置、辅助生产设施及公用设施进行常规检测报警、数据归档, 同时完成 PID 调节、分程控制、顺序控制等复杂控制逻辑。

DCS 系统由操作站、工程师站、打印机、控制站、I/O 机柜、端子柜及网络设备等组成。控制站作为 DCS 的主要控制设备, 具有各种 I/O 接口、信号隔离、控制运算、通信管理等功能。控制站按照不同单元 (天然气处理、凝液回收、硫磺回收、公用工程等) 分别配置, 控制站的电源模块、CPU、通信等主要模块按 1:1 冗余配置, 重要控制回路的模拟量卡件冗余配置。

1.2 安全仪表系统 (SIS)

安全仪表系统采用冗余容错技术, 应具有高可靠性, 系统的可利用率不低于 99.99%。系统应具备标准化操作和工程技术环境, 能与 DCS 系统进行通讯, 安全仪表系统 (SIS) 按采用冗余容错技术, 按故障安全型 (Fail-Safe) 设计。SIS 系统的设计应符合 IEC 61508 和 IEC 61511 标准要求, 安全完整度等级采用 SIL2、SIL3 级, 根据最后的 SIL 回路定级确定; SIS 控制器以工艺单元划分单独设置, 如天然气处理外输、凝液回收、硫磺回收分别设置独立的 SIS 控制器。SIS 系统应具有顺序事件 (SOE) 记录功能。SIS 系统通过 RS485 接口与 DCS 系统进行实时数据通讯。紧急关断系统 (ESD) 可划分为三级或四级以三级关断为例:

一级关断: 泄压关断。该关断由发生火灾、气体严重泄漏或爆管等重大事故引起。该级别关断将关断所有紧急切断阀, 打开所有紧急泄放阀, 关断现场与消防、应急电源无关的电源, UPS 电源延时关断。它由操作人员手动启动。二级关断: 保压关断。该级关断由主工艺系统故障 (脱硫、脱水等) 或核心辅助系统故障 (如仪表风系统) 引起, 该级别关断将关断所有紧急切断阀, 并停止相关转动设备。它可手动或自动启动。三级关断: 单元关断。该级关断由单个设备故障引起, 此级别关断仅关断故障设备, 而不影响其他设备的正常操作。三级关断可自动启动。

1.3 可燃及有毒气体检测报警系统 (GDS)

气体报警系统 (GDS) 由可燃气体探测器、有毒气体探测器及 1 套逻辑控制 (PLC) 站组成。GDS 控制站按照处理器模块、电源模块、通信模块 1:1 冗余配置。PLC 控制系统设置在机柜间。现场气体探测设备探测到可燃/有毒气体泄漏时, 发出信号给气体监控 PLC 系统, 以声光形式报警, 提示操作人员确认气体泄漏状态, 并根据控制逻辑在 PLC 内完成相关的联

锁控制。

现场探测设备包括：可燃气体探测器、有毒气体探测器、声光报警设备等。对工艺装置区、化验室、蓄电池间等处设置点式可燃气体、有毒气体探测器，对可燃、有毒气体泄漏进行实时监测报警；进站分离、脱硫、脱水、增压外输工艺区外围设置对射式可燃气体探测器；同时工艺装置区设置扫描式激光云台可燃气体探测器，可实现对微小泄漏的实时检测预警。以上点式、对射式、激光云台可燃、有毒探测器共同构成天然气处理站可燃气体探测系统，对全厂进行覆盖，提高天然气处理站站场的安全性。

可燃气体、有毒气体自带一体化声光报警器，同时结合工艺装置区的布置情况，设置区域报警器。区域报警器采用第二级报警信号作为启动信号，安装在相应区域内人员能有效感知的位置。

1.4 消防检测控制系统 (FDS)

FDS 主要负责工艺装置区火灾检测报警、消防联动。FDS 系统采用可编程逻辑控制器 (PLC)，PLC 控制系统设置在机柜间，PLC 按照处理器模块、电源模块、通信模块 1:1 冗余配置。FDS 系统主要用于工艺区火灾检测、消防泵及消防阀控制及状态检测，现场检测控制设备包括火焰探测器、手动报警按钮、消防泵、消防控制阀等。现场火灾探测设备探测到火灾时，FDS 发出声光报警，提示操作人员及时确认火情，启动全厂报警和消防系统，并根据控制逻辑在 PLC 内完成相关的连锁控制。

现场探测设备包括：火焰探测器、手动报警按钮、声光报警设备等。三频红外火焰探测器主要安装在工艺装置区、罐区可能发生火灾的场所。手动报警按钮安装在厂区、道路、值班室等有人接近的地方。声光报警设备设置结合站场平面及设备布置，安装于巡检及检修人员便于观察、且不影响正常维检修及操作的位置。

1.5 火灾自动报警系统

为及时发现火灾保护人员和设备安全，天然气处理站内设置总线式火灾自动报警系统，主要用于综合用房、生产用房等建筑物内的火灾检测报警。火灾自动报警采用总线式结构，由现场探测设备和安装在室内的火灾报警控制器组成。

在建筑物各房间内均设置火灾检测探头或报警设备（包括：感烟探测器、感温探测器、声光报警器、手动报警按钮等），并将报警信号传至机柜间火灾报

警控制器，火灾报警控制器将报警信号传至站内 DCS 系。

2 工控网络安全

根据《中华人民共和国网络安全法》的要求，国家实行网络安全等级保护制度，网络运营者应当按照网络安全等级保护制度的要求，SCADA 系统网络安全设计应遵循 GB/T 22239《信息安全技术网络安全等级保护基本要求》、GB/T 25070《信息安全技术网络安全等级保护安全设计技术要求》、GB/T 28448《信息安全技术网络安全等级保护测评要求》等相关规范，天然气处理站工控网络安全等级保护按第二级 / 第三级进行建设，具体定级应结合工程规模、重要程度及相关安全等级保护基本要求确定。以等级保护第二级为例，通常天然气处理站设置安全审计系统、工业防火墙、网闸、主机安全防护系统等软硬件；同时，为实现对处理站控制系统各工控网络设备、主机设备的日志和告警进行归一化采集和关联分析，展现安全态势，可设置工控网络安全管理平台，全面提升安全防护效率和安全管理能力。

3 高级应用

为实现少人值守、智能巡检、智能优化和管理提供支持和保障，提高站场智能化和管理水平，在以上控制系统的基础上，天然气处理站采用多种智能化技术和高级应用系统，进一步提升站场的智能化水平，包括智能仪表设备管理系统、高级报警管理系统、智能优化控制系统、自控视频安防系统联动等技术。

3.1 智能仪表设备管理系统

天然气处理站远传仪表及阀门定位器均选用智能型设备，设备支持 HART 协议，可通过 HART 协议实现远程对仪表、阀门等的设备管理。处理站设置智能设备管理系统一套，实现对现场智能仪表设备进行统一管理，实现故障诊断、在线组态、数据管理等功能。通过该系统可提前预估相关设备性能，提高了维护效率，降低了非计划性停车导致的经济损失。

天然气处理站智能设备管理系统从 DCS、SIS、GDS、FDS 系统读取相关 Hart 仪表信息。DCS、SIS、GDS、FDS 系统均需满足智能设备管理系统读取 HART 信号的要求。DCS 系统的模拟量卡件应支持 HART 协议，SIS、GDS、FDS 系统模拟量卡件如不支持 HART 协议，则需应配套 HART 转换器等附件。

3.2 高级报警管理系统

天然气处理站配置高级报警 (AAS) 系统 1 套，

包含工作站（兼服务器）和相关软件。操作员只需响应报警处理必要的问题即可。

AAS 系统通过 OPC 协议同处理站控制系统进行实时数据交互，通过对报警数据统计分析，通过报警搁置报警、多工况报警管理等手段，减少无效报警对操作人员的干扰；同时通过审计报警数据，发现不合理的报警修改，为工业生产过程中危险报警的管控与维护提供长期有效的帮助，保证有效报警，避免报警泛滥。

3.3 先进控制系统

为实现装置的优化先进控制，天然气处理站设置先进控制系统（APC）1套，包含 PID 参数整定优化、PID 回路性能监视与评估功能。DCS 控制系统已有常规控制的基础上，通过 PID 参数控制优化，即优化装置自控回路中控制参数（P-比例带，I-积分时间，D-微分时间），提高自控率和平稳率，提高装置的控制精度，实现工厂安全平稳操作，确保产品质量，降低能耗，提高经济效益目标；PID 回路性能监视与评估功能可实现所有 PID 控制回路运行状态的在线实时统计与监测，包括控制回路投用率、平稳率、操作频次、报警次数等信息，评估分析 PID 回路的运行性能，给出并显示性能评估结果，并根据检测问题的影响程度确定优先级，通知操作人员采取适当措施。

3.4 智能巡检技术

智能巡检是在控制系统调度下，综合应用红外热成像、图像识别等技术，由计算机代替操作人员进行判断，操作人员仅需处理报警即可。自动巡检频次更高，可识别人工巡检难以发现的细小问题和隐性故障，从响应速度到实现功能均优于人工巡检。智能巡检采用的主要技术包括智能红外热成像系统、视频报警联动、智能人员定位、机器人巡检等。

3.4.1 智能红外热成像系统

工艺区设备管线温度的异常变化往往意味着事故隐患的产生，例如跑冒滴漏、火气等异常情况均会在事故源周围产生不同情况的温度变化，红外热成像技术可以有效弥补可见光视频监控的不足，及时发现隐患和事故。通过红外热成像技术，可自动识别设备超温异常、泄漏、阀门卡堵、保温层脱落等故障和隐患。天然气处理站通常选择对压缩机、大中型泵等重点机泵设备区域进行监测。

3.4.2 自控视频安防系统联动

站控系统 with 视频、安防系统集成，视频和安防报

警可推送到站控系统，在监控画面上实现一体化报警。同时站控系统关键参数（温度、压力、液位、火气等）报警时，与视频系统关联，对应区域摄像头自动调整姿态对准报警位置，弹出报警画面，以醒目的方式展示现场视频和报警数据，以便监控人员及时有效的做出判断。

3.4.3 智能人员定位

天然气处理站设置智能人员定位系统，配备智能巡检软件的一体化智能终端，将通讯、定位、签到与采集分析合为一体，有效克服传统巡检的弊端。运用智能传感器技术提高单次巡检的效率和效果，通过高效可靠的数据库和先进的缺陷诊断发现设备早期的故障特征，有效避免各类事故的发生。

3.4.4 机器人巡检技术

天然气处理站可试点应用机器人巡检技术，巡检机器人综合运用导航技术、多传感器融合技术以及无线通信等技术，通过配置激光雷达定位、可见光/红外摄像、音频传感等多种传感装置，实现全天候、全方位、全自主智能巡检和监控，提高巡检效率，及时发现生产运行中的异常工况，降低人工巡检强度。

4 结语

先进可靠的天然气处理站自控系统是保证工厂平稳运行、安全生产的前提，本文以 DCS、SIS、GDS、FDS 为基础构建处理站自控系统，各系统相互独立、功能可靠，可有效保障处理站的流程控制、安全联锁；同时，天然气处理站内综合应用了智能设备管理、高级报警、先进控制及智能巡检等技术，近一步提升了天然气处理站的自动化水平和安全保障水平，为天然气处理站少人值守、高效管理提供了平台基础。

参考文献：

- [1] 王静. 印尼天然气处理站自动控制系统 [J]. 石油工程建设, 2009(S1):69-71.
- [2] 杜小芸. 天然气净化厂安全仪表系统设计 [J]. 自动化, 2016(11):74-76.
- [3] 王伟, 苏耀东. 智能工厂工业控制系统安全体系构建和思考 [J]. 石油化工自动化, 2021,03:1-5.
- [4] 杨述开, 程海龙, 王彦栋. 站场巡检维一体化智能设备集成技术应用探索 [J]. 信息系统工程, 2019(11):91-92.
- [5] 卢俊. APC 技术在常减压装置中的应用 [J]. 石化技术, 2021(02):59-61.