

气田安全仪表系统联锁逻辑优化研究与应用

刘国洞 苗立民 徐小龙 陈纯见

中国石化中原油田普光分公司 四川 达州 635000

摘要: 安全仪表系统(SIS)是指用仪表实现安全功能的系统,在化工生产中起到重要的联锁保护作用,其目的是控制或减小风险,对可能发生的危险或不当措施状态进行及时响应和保护,以保障人员、设备和生产装置的安全。系统由测量变送、逻辑运算、执行单元、软件系统及通讯网络等组成。本文通过对普光气田集输安全仪表系统关断联锁逻辑研究和优化,提高应急处置效率,以供经验分享。

关键词: 气田;集输;仪表;安全;应急处置;联锁逻辑

1 普光气田集输安全仪表系统概况

1.1 集输系统概况

普光气田位于四川省达州市宣汉县,天然气资源量8916亿方,累计上报探明天然气地质储量4122亿方,是国家“十一五”重点工程“川气东送”的主要气源地之一。气田具有:储量丰度高($42 \times 108 \text{m}^3/\text{Km}^2$)、气藏压力高(55-57MPa)、 H_2S 含量高(14-18%)、CO含量高(8.2%)、气藏埋藏深(4800-5800m)等“四高一深”的特点,是目前国内发现的规模最大的海相整装酸性气田^[1]。普光气田地面集输部分由1#、2#、3#、4#四条支线组成,主要包括30座集气站、52座阀室。

1.2 安全仪表系统概况

普光气田安全仪表控制系统凌驾于生产过程之上,当生产过程发生危险情况时,自动地按照预先设定的联锁关断逻辑进行保护,如紧急关断阀门、停井口加热炉等,以防止危险事故的发生或者减轻其后果。集输安全仪表系统设有4级安全联锁关断:全气田关断(ESD-1)、支线关断(ESD-2)、站场泄压/保压关断(ESD-3)、单元关断(ESD-4),当达到关断触发条件时,根据事故情况及涉及范围触发相应级别的关断^[2]。

1.2.1 全气田关断(ESD-1):为全气田关断。该级关断级别最高。气田内发生重大事故时触发,或者由净化厂或外输首站控制系统触发。关闭所有的有效设备,整个气田全部关停。启动紧急报警广播系统。

1.2.2 支线关断(ESD-2):为支线关断。由支线发生重大事故(如泄漏、火灾)或由1级关断逻辑触发。关断支线上的所有设备以及站内设备,整条支线全部关停。并触发站场级关断。启动对应广播系统,触发相关联的声光报警。

1.2.3 单站关断(ESD-3):站场级关断。由1级或2级关断逻辑触发,或者由站内气体泄漏、出站压力超限

触发。关断站内所有设备,启动对应广播系统,触发相关联的声光报警。大湾区块的站场切断非UPS供电。

1.2.4 单元关断(ESD-4):为局部工艺流程和装置关断。由1级~3级关断逻辑触发,或者单元设备上的液位超限、单井气体泄漏触发。此级关断仅关断故障部位,而不影响其他设备的正常操作。

2 普光气田安全仪表系统联锁逻辑运行现状

目前,当集气站及阀室压力高高低低、气体泄漏检测、压降速率等报警后,需要值班人员到现场确认后手动触发相应的逻辑关断,将能量源隔离并泄放,控制事故的扩大。但由于站场、阀室分散且距离较远,线路管道上的气体泄漏、火灾爆炸、管道破裂联锁关断需“人工确认”,耗时长,容易导致泄漏扩大化^[3-5]。另外,多线阀室一旦关断,影响生产范围较大,需采取措施在保证安全生产的同时减少因共线阀室故障造成的全气田停产。

2.1 阀室联锁逻辑现状:普光气田主体部分共包括阀室29座、阀组区1座,其中1#-5#阀室为三线阀室,6#-9#阀室为双线阀室,其余均为单线阀室。大湾区块共包括阀室18座,均为单线阀室;2#-3#线连通线包括单线阀室1座;1#-4#线连通线包括单线阀室3座。每座阀室均设有独立的SIS系统,当达到联锁条件时,经人工确认后由中控室的SIS下发相应的关断指令给相关阀室和站场。

2.2 关键站场普光P301集气站联锁逻辑现状:阀组区的信号上传至P301集气站的站控系统,由P301站的SIS系统负责相关的报警和联锁。P301阀组区当2台火焰探测器同时报警时,人工确认后触发关停1#-3#线所有站场。可燃和有毒气体探测器仅报警,未联锁。

2.3 支线联锁逻辑现状:二级关断为1#、2#、3#、4#线支线关断,二级关断的条件是输气支线爆管泄漏、支线阀室发生火灾、阀室泄漏等事故,触发此支线相邻阀室及沿线上游站场的ESD-3级保压关断。由于P301为天

然气汇聚站场，所以P301集气站没有纳入到任何一条支线关断里，各支线关断时P301却没有关断。集气站进站（越站）管线压力低报警联锁进站ESDV属于ESD-4级单元关断，没有考虑对上下游的影响。

2.4 集气站联锁逻辑现状：集气站联锁逻辑包括单站关断（ESD-3）及单元关断（ESD-4），单站关断的条件是站场发生火灾或站场发生气体泄漏，触发方式分两种：紧急切断并保压（简称保压），紧急点火放空（简称泄压）。当三级关断条件发生后，在站控室手操台上依次拔出报警确认按钮与紧急关断按钮，或在中控室、站控室人机界面上紧急触发三级关断指令；单元关断是为保护工艺单元或设备而设置的联锁关断，包括单井关断、分离器关断等。此级别关断应由操作人员确认报警后，可自动触发，切断相关工艺单元，视具体逻辑启动局部放空。

2.5 压降速率联锁逻辑现状：普光气田每座阀室的BV阀均带电子控制单元，具有压降速率检测和报警功能，其中压降速率信号通过RS485上传至PCS系统，压降速率报警信号通过硬接线上传至SIS系统。中控室SIS收到压降速率报警后，经人工确认下达相关联锁逻辑关断指令：关闭报警BV阀及上下游截断阀，关停上游集气站场。

2.6 联锁逻辑优化的必要性：（1）从安全仪表系统运行过程中出现的关断事件，反映出压降速率、气体泄漏、压力高等联锁关断存在需人工确认耗时长的问题；（2）普光、大湾区块分批建成投产，生产运行过程中发现一些不合理联锁逻辑，集气站联锁逻辑存在差异，同时需将普光、大湾集气站联锁控制逻辑优化保持一致；（3）根据对普光气田集输控制系统的HAZOP分析及SIL评估结论，部分联锁回路无法达到SIL1的要求。

3 关断联锁逻辑优化

3.1 支线联锁逻辑优化

3.1.1 阀室气体探测器改为自动联锁。单线和双线阀室由“气体探测器四取三人工确认”改为“四取三自动联锁”；三线阀室联锁逻辑由“阀室间气体探测器五取三人工确认”改为“阀室间气体探测器五取三自动联锁”。减少人工确认环节，提高应急处置效率。

3.1.2 目前，阀室压降速率联锁为“人工确认”。阀室为无人值守，当出现管道破裂后压降速率会在中心控制室报警，中控室值班人员发现后上报调度室，调度室再安排人员到阀室核实是否出现管道破裂情况。经过这一确认环节，耗费时间较长，当真正发生破管事件，不能及时触发联锁关断，将引发严重的事故。因此，需将压降速率

报警联锁关断由“人工确认”改为“自动联锁”。

3.1.3 目前，所有支线关断均不联锁P301集气站的保压关断，当普光1-5#阀室3号线中的某一个阀室出现火灾、爆管、气体泄漏时，触发支线关断后，P301的能量不能及时截断并泄放，将会导致事态扩大化。因此，将P301集气站纳入3#支线，关停3#支线时联锁关停P301集气站。

3.1.4 普光隧道气体检测联锁由“4台气体探测器同时报警人工确认”改为“气体探测器报警四取二人工确认”。减少联锁关断逻辑的响应时间，提高系统的灵敏度。

3.1.5 集气站“进站管线压力低报警联锁关断进站ESDV”逻辑由站场ESD-4级关断调整到ESD-2级关断，触发结果改为“进站管线压力低报警自动联锁关断进站ESDV以及上下游相邻站场/阀室的线路切断阀，上游各集气站保压关断”。

3.2 P301集气站阀组区联锁逻辑优化

P301集气站为普光区块1#、2#、3#线的集输枢纽，普光区块的所有集气站的酸气均要通过P301阀组区输送到净化厂进行处理，若P301集气站阀组区出现管道破裂、火灾爆炸、气体泄漏等异常情况时，将会影响普光区块所有集气站的生产运行。

3.2.1 P301阀组区新增“压力低低自动联锁关断本条线的过站紧急切断阀”的联锁逻辑。

3.2.2 气体探测器采用“五取三自动联锁”关断。火焰探测器“二取二人工确认”，增加关断阀组区三台ESDV和上下游阀室BV的触发结果。

3.3 各集气站联锁逻辑优化

集气站“出站压力高高、低低”、“同一区域内多个气体检测报警”均由“人工确认”

改为“自动联锁”。站场泄压关断均联锁关停非UPS电源，站场保压关断不联锁关停非UPS电源。

3.4 压降速率联锁逻辑优化

由于部分站场之间没有阀室，缺乏压降速率检测手段，在12条无压降速率检测的管段进站管线增加电子控制单元和压力变送器，进行压降速率检测，并将压降速率信号通过RS485接口传输至站场PCS系统，将压降速率报警采用硬接线传输至站场SIS系统，再通过工业以太网传输至中控室SIS，由中控室SIS做压降速率联锁逻辑判断并实施支线关断。压降速率计算方法如下：

$$\Delta P_i = \frac{\sum_{t=i}^{i+3} P_{t-12}}{4} - \frac{\sum_{t=i}^{i+3} P_t}{4} = \frac{\sum_{t=i}^{i+3} (P_{t-12} - P_t)}{4} \quad (i = 1, 2, 3 \dots \dots \frac{n}{5})$$

其中：

P_t — t 时刻采样压力;

Δt —采样间隔, $\Delta t = 5s$;

ΔP_t —压降速率 (MPa/min);

压降速率计算方法是以连续4个采样压力的平均值作为一组,与60s前的4个采样压力的平均值求差。

具体联锁逻辑优化如下:

3.4.1 1#线18座阀室BV阀加站场的1个电子控制单元,共19取2自动联锁;

3.4.2 2#线12座阀室BV阀12取2自动联锁;

3.4.3 3#线14座阀室BV阀加站场的1个电子控制单元,共15取2自动联锁(含2#~3#连通线31#阀室);

3.4.4 4#线18座阀室BV阀加站场的10个电子控制单元,共28取2自动联锁;

3.4.5 1#~4#连通线19~21#阀室加P106阀组BV阀,共4取2自动联锁。

4 现场应用

通过对安全仪表系统的关断联锁逻辑优化,该系统的功能更加完善,安全性和可靠性得到了有效提升,主要体现在以下几个方面:

4.1 保障气田酸气管道发生爆管事件和站场阀室发生含硫气体泄漏能及时关断,提升气田运行本质安全。

4.2 使普光区块、大湾区块的联锁逻辑设计原则和思路保持一致。

4.3 通过对全气田四级关断逻辑测试,事故状态下SIS系统关断逻辑执行的可靠性达到100%。

4.4 通过对控制程序测试,控制系统回路控制执行时间降低至85ms。

4.5 通过本次优化,安全仪表系统各回路SIL评估 \geq

SIL2级,满足SIL等级要求。

5 效益分析

该项目的研究及应用,极大的提升了气田控制系统运行可靠性、稳定性,有效避免气田因控制设备故障发生关断事件,丰富了高含硫气田控制系统运行技术体系,有效提升了行业控制系统设计、使用标准,该项目运行科学、合理、高效,节约投资费用1000余万元,具有良好的经济及社会效益。为油田年度产量完成做出了积极贡献,对行业类似装置控制系统检维修作业具有重要的示范和指导意义。

6 结语

通过对普光气田安全仪表系统联锁关断逻辑的研究,并结合应急处置实际情况,摸清了集输系统联锁关断逻辑存在的问题,通过对支线、集气站、阀室、压降速率的联锁逻辑优化,缩短了联锁关断响应时间,提高了应急处置效率。

参考文献

- [1]何衍庆,黄海燕,黎冰.电可编程控制器原理及应用技巧[M].化学工业出版社.2010.2
- [2]高淑婷,赵艳婷.电气工程中电气自动化融合技术的应用效果分析[J].2019(19)
- [3]毛仲德等.自动化仪表工程施工质量验收规范[GB50131—2007].国家标准.2008(5)
- [4]胡迈清、朱瑞苗、郭晓明等.油气田及管道工程仪表控制系统设计规范.GB/T 50892—2013
- [5]田京山、王静、李亚云等.石油天然气工程可燃气体检测报警系统安全规范.SY/T 6503-2022