安全仪表系统的升级改造及应用

安全仪表系统在“两重点一重大”装置中的 SIL 定级与验证——根据国家安全监管总局的要求，老旧装置及新建项目如未配套安全仪表系统、未进行 SIL 的定级与验证，将不再核发新的《安全生产许可证》，因此如何借鉴已经成功开展 SIL 评估工作企业的相关经验，未来的发展趋势如何，将是化工企业重点关注的问题。

文 / 程书华

根据《国家安全监管总局关于加强化工安全仪表系统管理的指导意见》安监总管三【2014】116 号要求：“对于新建装置自 2018 年 1 月 1 日起，各地的安监局逐步对于‘两重点一重大项目’要求新项目进行 SIL 定级与验证，对于在役装置应在 2019 年底之前，完成安全仪表系统的评估工作，并进行整改。”老旧装置及新建项目如未配套安全仪表系统、未进行 SIL 的定级与验证，将不再核发新的《安全生产许可证》，这将进一步加强对企业的安全生产的管理与要求。因此如何借鉴已经成功开展 SIL 评估工作企业的相关经验，未来的发展趋势如何，将是化工企业重点关注的问题。

安全仪表系统

安全仪表系统（Safety Instrumented Systems，简称 SIS）是实现一个和多个安全仪表功能的仪表系统，是一种自动安全保护系统，它是保证正常生产和人身、设备安全的必不可少的措施，已发展成为工业自动化的重要组成部分。SIS 由传感器、逻辑控制器以及最终元件的任何组合构成，SIS 可以包括软件，可以包括人员动作作为安全仪表功能的一部分。安全仪表系统独立于过程控制系统 BPCS（例如分散控制系统等），生产正常时处于休眠或静止状态，一旦生产装置或设施出现可能导致安全事故的情况时，能够瞬间准确动作，使生产过程安全停止运行或自动导入预定的安全状态。SIS 必须有很高的可靠性（即功能安全）和规范的维护管理，如果安全仪表系统失效，往往会导致严重的安全事故，近年来发生的重大化工（危险化学品）事故大都与安全仪表缺失、失效或设置不当有关。根据安全仪表功能失效产生的后果及风险，将安全仪表功能划分为不同的安全完整性等级。不同等级安全仪表回路在设计、制造、安装调试和操作维护方面都有着不同技术要求。

通过对在役的“两重点一重大”装置进行 SIL 评估，明确对危险与风险分析不足、设计选型不当、冗余容错结构不合理、缺乏明确的检验测试周期、预防性维护策略针对性不强及部分老旧生产装置甚至没有或不具备配备安全仪表系统等各类问题。针对在役装置安全仪表系统不满足功能安全要求的，例如未配备 SIS 系统及控制仪表与安全仪表不独立等问题进行系统的整改及改造，切实提升企业本质安全水平，满足国家标准要求。

SIL 定级与验证及 SIS 系统的整改

某化工公司一、二期化工生产装置分别在 2004 年、2006 年建成开车，已经分别运行 17 年，15 年的时间。建设期间，紧急停车系统仅用于气化炉装置，其他重点监管危险化工装置没有进行 SIL 定级与验证，不符合安监总局 116

作者任职于山东华鲁恒升化工股份有限公司。

PROCESS-Tip

* 更多信息请扫描二维码：

chem.vogel.com.cn

* 反馈编码：A220437

号文的要求，2018 年开始对其公司内在役的“两重点一重大”装置进行了 SIL 评估（定级与验证），原则为：① 一级、二级重大危险源必须做 SIL 评估，三级、四级重大危险源建议考虑。② 重点监管危险化工工艺必须做 SIL 评估，重点监管的危险化学品达到一定量需进行 SIL 评估。

通过招标方式，涉及“两重点一重大”装置由工业安全技术有限公司完成安全仪表系统评估工作。SIL 定级运用保护层分析（LOPA）技术确定生产装置对 SIS 系统 SIF 回路配置的实际需求以及 SIF 回路所需的安全完整性等级（SIL）要求，并分别从人员安全、环境影响和财产损失三个方面来综合考虑安全仪表系统的配置需求；SIL 验算根据 SIF 回路的结构组成，对每一 SIF 回路进行计算并进一步审查硬件结构约束特性，同时参考 IEC61511 和 IEC61598 对安全仪表回路的结构约束，得出是否满足目标 SIL 等级的可靠性的要求。根据公司“两重点一重大”装置划分共涉及装置进行 SIL 评估定级工作，见表 1。

SIL 定级评估工作由工业安全技术有限公司完成在役“两重点一重大”装置 HAZOP 分析工作，根据分析结果以下装置存在中、低风险：

（1）大氮肥 30 万 t/a 合成、大氮肥硫回收装置、大氮肥液氮洗装置。

（2）5# 合成装置、碳一硫回收装置、碳一液氮洗装置。

（3）北区硫回收装置、北区液氮洗装置、6# 合成装置。

对存在风险的装置进行 LOPA 保护层分析方面，仪表技术人员对需要验证回路进行现场资料收集，经过评估后，目前硫回收、氨合成、液氮洗等装置联锁回路定级在 SIL1 以上，根据 SIL1 要求需要提高现场仪表和现场执行机构的等级、准确性。

表 1 涉及装置的 SIL 评估定级

工段	数量	安全仪表系统	HAZOP 分析情况	备注
空分	2 套	SIS 系统	有	北区 2 套
水煤浆气化炉	12 台	ESD 系统	有	大氮肥 5 台单喷嘴，碳一 4 台单喷嘴，北区 3 台四喷嘴
变换	5 套	DCS 系统	有	大氮肥 2 套，碳一 2 套，北区 1 套
甲醇洗	5 套	DCS 系统	有	大氮肥 2 套，碳一 2 套，北区 1 套
液氮洗	5 套	DCS 系统	有	大氮肥 2 套，碳一 2 套，北区 1 套
硫回收	3 套	DCS 系统	有	大氮肥 1 套，碳一 1 套，北区 1 套
甲醇合成精馏	4 套	北区有 ESD 系统	有	大氮肥 1 套，碳一 2 套，北区 1 套
氨冷冻及中间储槽	4 套	DCS 系统	有	大氮肥 2 套，碳一 2 套
北区丙烯装置	1 套	DCS 系统	有	北区 1 套，类似氨冷冻装置
北区 CO 深冷	1 套	ESD 系统	有	北区 1 套
氨合成装置	4 套	DCS 系统	有	大氮肥氨合成 1 套，东区 4#、5# 氨合成 2 套，北区氨合成 1 套，

根据工业安全技术有限公司完成装置定级结果进行回路验算，验算结果：现场部分联锁与控制仪表不独立情况需要进行整改，联锁条件需要调整，使整个联锁回路具备 SIS 安全功能。

根据整改建议对装置进行安全仪表系统的升级改造，以硫回收装置废热锅炉液位为例，具体介绍 SIS 系统的升级改造过程。LOPA 保护层分析见表 2。

硫回收评级估定结果

装置中有 1 条联锁分析结果在 SIL1 以上，同时这条联锁需要独立设置，需要分离出 DCS 系统见表 3。

改造方案

将原现场两台液位变送器 LT1301/LT1303 二取二联锁引至 SIS 系统中，同时增加一台液位变送器 LT1302，新液位计在 DCS 控制 LV1302，实现 DCS 的自动调节，

表 2 LOPA 保护层分析

联锁回路	危险因素	分析 1	分析 2	定级
LT1301/LT1303（2oo2），酸性气燃烧炉废热锅炉液位低低，汽包干锅，炉管超温爆裂，直接经济损失 10 万 ~50 万元，装置停工 20 天以上，对企业形象周边范围有影响。（注：汽包管程过程气、壳程锅炉水）	人员伤害	-	-	
LT1301/LT1303（2oo2），酸性气燃烧炉废热锅炉液位低低，汽包干锅，炉管超温爆裂，直接经济损失 10 万 ~50 万元，装置停工 20 天以上，对企业形象周边范围有影响。（注：汽包管程过程气、壳程锅炉水）	财产损失	-	-	21
LT1301/LT1303（2oo2），酸性气燃烧炉废热锅炉液位低低，汽包干锅，炉管超温爆裂，直接经济损失 10 万 ~50 万元，装置停工 20 天以上，对企业形象周边范围有影响。（注：汽包管程过程气、壳程锅炉水）	声誉影响	-	-	2.1

表 3 SIL 验证定级

序号	联锁回路位号	联锁回路名称	关键联锁动作	定级 RRF	备注
1	LT1301/LT1303（2oo2）	酸性气燃烧炉废热锅炉液位低低	风机跳车，XV1302 关闭，FV1302,FV1305 关闭	21	检修周期 4 年

实现 SIS 与 DCS 系统回路的独立控制。现场在燃料气总管上增加一台两位阀 XV1305，风机出口管道上增加一台阀门 XV1306，在酸性气体管道上增加一台阀门 XV1307，有 SIS 实现联锁控制，联锁时直接关 闭 XV1305、XV1306、XV1307 和 SIS 把数据通信传输到 DCS 系统显示。通过增设安全仪表系统，实现了 SIS 仪表与 DCS 仪表回路的独立性，SIS 系统用于非安全状态下的紧急停车控制，DCS 系统对生产装置进行实时控制，达到了 SIS 系统与 DCS 系统的分离控制。改造方案见表 4。

硫回收 SIS 系统在 2019 年 10 月完成安装调试投运工作，装置完成了安全仪表系统的评估，整改工作。

未来发展趋势

国家安监总局在 2014 年 11 月发布的 116 号文“加强化工安全仪表系统管理的指导意见”中对新建装置及在役装置设计建立安全仪表系统的相关要求中也提到，DCS 的联锁投用管理、报警管理（Alarm Management）、火灾报警及可燃气检测系统（Fire and Gas Detection System，FGS）的可靠性及布局合理性分析等方面的分析应参照安全仪表功能进行管理和检验测试。

表 4 改造方案

AI 测点		
LT1301	二取二联锁	进 SIS 系统控制
LT1303		
DO 测点		
XV1305	阀门关闭	SIS 系统输出控制阀门
XV1306	阀门关闭	
XV1307	阀门关闭	

因此如何对 DCS/FGS/SIS 进行维护管理、故障数据统计、仪表准入制度管理等将是企业未来面对的挑战与难题。

（接 P36）

实时响应性，完美地解决了该类工况的难点。为了针对磨损严重的工况，罗斯蒙特还有针对性地开发出了两款不同厚度的镀金层，以便更加有效和针对性地解决此类问题。

金刚涂层膜片隔膜压力变送器

金刚涂层膜片隔膜压力变送器是罗斯蒙特在隔膜压力变送器膜片材质上的一种技术优化，该金刚膜片在气化黑灰水上介质中使用，防磨能力是普通不锈钢膜片的 10 倍，是加厚不锈钢膜片的 5 倍。在气化介质抗氢渗能力上，使用在 500 ℃的过程温度条件下，金刚膜片的使用寿命是普通不锈钢膜片的 80 倍，其使用温度范围在 -75 ~425 ℃，使用介质温度范围较广。在测量精度上，金刚膜片涂层厚度仅为 1~2 μm，对传感器测量精度无任何影响。既防氢渗又抗磨损，是罗斯蒙特金刚膜片最显著的特性。

金刚涂层膜片压力隔膜变送器在现场应用场所主要是煤浆槽液位、磨煤机、气化炉液位、洗涤塔液位、锁斗冲洗水槽液位、水煤气液位及流量测量上。例如测量煤气化工段中黑灰水洗涤塔工段的液位，其工况温度在 240 ℃，压力在 6.8 MPa 左右，且工艺介质具有较多的煤灰，介质成份复杂，测量过程易堵塞，膜片容易氢渗、易磨损。该液位的稳定测量在整个工艺监控中非常关键，同时还参与安全联锁。常规膜片使用不到一个月膜片就报废，导致测量故障。通过优化改进，在该工况点测量采用金刚涂层膜片后，解决了氢渗及磨损问题，极大地延长了隔膜变送器的使用周期，确保了液位计测量准确可靠，减少了检维修人员更换液位计频次，降低了资金投入，同时降低了非计划停车带来的故障影响，显著提高了生产工艺的稳定性，对于提升企业经济效益有着很大的帮助。

金刚涂层膜片的优化应用，为煤化工行业解决了关键性难题，特别是在煤气化工段解决了氢渗、磨损等造成膜片损坏问题，为煤化工企业在检测液位及压力、流量等测量设备上提供了强有力的技术保证，实现了大型煤化工长周期稳定运行。

结束语

随着大型煤化工行业在不断地快速发展，现场工艺控制测量中越来越多的压力变送器参与到了联锁或 SIS 系统中，这对测量仪表的稳定性及使用周期上都提出了严格的要求。压力变送器生产企业也随之不断地进行更新换代，变送器的测量形式及测量材质也在不断地推陈出新，各类新型式压力变送器在不断发展和创新。通过运用新的仪表测量技术和新的测量材质，更好地解决工艺过程控制中遇到的测量控制技术难题，逐步降低检维修安全风险，逐步提高化工企业生产现场测量仪表长周期稳定运行。