

LNG 气化站安全仪表的安全评价方法

Safety evaluation method for safety instrument of LNG gasification station

白晓墨 (江苏中安科技服务有限公司, 江苏 南京 210046)

Bai Xiaomo (Jiangsu Zhongan Technology Service Co., LTD, jiangsu Nanjing 210046)

摘要: 清洁能源日益成为人们日常需求的重点能源, 清洁能源开发利用是当前广泛关注的焦点。LNG 气化站保证了我国天然气的供应, 是我国天然气工业极为重要的组成部分, LNG 气化站主要用于接收 LNG 终端站、液化工厂输送来的液化天然气, 并在相关操作下将其输送至城市管网系统。在此期间, LNG 气化站安全仪表起到非常重要的安全保障作用。目前, 对于 LNG 气化站安全仪表系统的功能安全评价尚处于初步阶段, 存在着这样或者那样的一些突出问题。为此, 要构建系统的 LNG 气化站安全仪表系统功能安全评价体系, 根据不同等级的气化站采用适宜的定级方法, 开展 LNG 气化站安全仪表系统的功能安全评价。

关键词: LNG 气化站; 安全仪表; 安全评价

Abstract: Clean energy has increasingly become the focus of People's Daily needs, and the development and utilization of clean energy is the focus of extensive attention at present. LNG gasification stations ensure the supply of natural gas in China and are an extremely important part of China's natural gas industry. LNG gasification stations are mainly used to receive LIQUEFIED natural gas from LNG terminal stations and liquefaction plants and deliver it to urban pipeline systems under relevant operations. During this period, the LNG gasification station safety instrument plays a very important role in safety guarantee. At present, the functional safety evaluation of the safety instrument system of LNG gasification station is still in the preliminary stage, and there are some outstanding problems. Therefore, a systematic functional safety evaluation system for the safety instrument system of LNG gasification stations should be established, and appropriate grading methods should be adopted to carry out the functional safety evaluation for the safety instrument system of LNG gasification stations.

Key words: LNG gasification station; Safety instrument; Safety evaluation

0 引言

LNG 气化站由于储存大量的易燃易爆 LNG 液体, 危险系数极高, LNG 一旦发生泄露事故, 会造成无法想象的严重后果, LNG 气化站是重大的危险源。为此, LNG 气化站安全管理与评价是极其重要的研究内容, 本文就从 LNG 气化站安全仪表系统出发, 结合 LNG 气化站安全仪表系统的现状及特点, 探讨 LNG 气化站安全仪表的安全评价方法, 结合 LNG 气化站安全仪表系统统计的相关分析数据, 再根据各个相关规范标准要求, 进行必要的安全度等级的评估, 认真分析评估结果, 切实保证 LNG 气化站的安全高效运行。

1 LNG 气化站安全仪表系统概述

LNG 气化站自动仪表包括现场仪表系统, 例如温度仪表、压力测量仪表、液位测量仪表、分析仪表控制法等各类仪表。在 LNG 气化站的站控系统之中, 通过 LNG 储罐液位连锁、压力连锁、温度连锁等方式, 实现对阀门汽化器的远程监督和控制。LNG 气化站的紧急停车系统其中包括有低温切断阀。另外, 报警系统、广播

报警系统等也是重要的自动仪表控制系统。

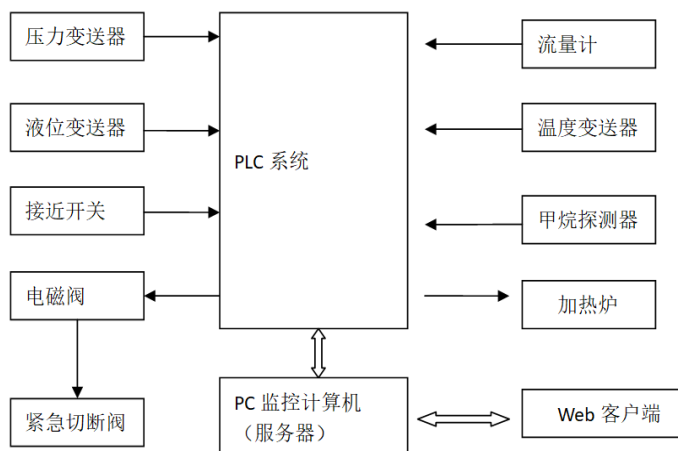


图1 LNG 气化站控制系统结构图

2 LNG 气化站安全仪表的 HAZOP 分析方法应用

2.1 LNG 气化站工艺危险性分析

LNG 是具有易燃易爆特性的液体, 在天然气与空气

相互混合的条件下,极易形成爆炸性的混合物。同时,LNG是深冷低温液体,一旦出现大量的渗漏,会快速蒸发,容易对设备及人员造成低温灼烫。另外,LNG几乎没有毒性,一旦发生泄漏难以及时察觉,极易出现人员窒息死亡的危险。

2.2 基于HAZOP分析方法的安全仪表功能分析

考虑到LNG气化站工艺设备繁多、工艺极其复杂的特点,可以采用HAZOP的分析方法,利用危险与可操作性分析策略进行LNG气化站的工艺危险分析。具体分析步骤如下:

2.2.1 定义阶段

明晰LNG气化站的HAZOP分析范围和工艺装置,了解相关人员的技术操作技能和工作经验,并且组建HAZOP分析小组。

2.2.2 准备阶段

先要制定HAZOP分析计划,选择恰当的HAZOP分析模板和记录方式,对LNG气化站安全仪表的预估完成时间和实施进度进行规划。

2.2.3 研究阶段

可以对LNG气化站相关参数进行分析,在了解LNG气化站设计意图和工作节点的前提下,识别和分析LNG气化站安全仪表运行过程中存在的偏差,通过对现有安全措施的全方位分析、了解和评估,识别和把握LNG安全仪表运行过程中的风险,并对风险等级进行确定,有针对性地提出改进和优化策略。

2.2.4 文档记录阶段

在对LNG气化站的HAZOP分析过程中,对于存在的问题进行及时记录,并在最后生成报告意见和建议。

2.3 安全仪表安全功能评价参数

在对LNG气化站安全仪表的HAZOP分析中,对已有的安全仪表安全功能评价包括以下参数:

2.3.1 储罐液位高

出现这一偏差的原因主要是由于卸车操作时LNG储罐出现溢流的现象,导致储罐的压力升高。对此要制定相关操作规程。明确具体的液位观测和控制措施。

2.3.2 储罐压力高

这主要是由于储罐出液阀门误关闭或阀门堵塞而导致的,或储罐缺乏良好的绝热效果;在运行过程中的压力监控和报警装置存在故障、安全阀失效而导致的。由此使储罐出现变形而使LNG泄漏,引发火灾爆炸。对此,要增加超压联锁排放功能,当其不运行时要关闭增压汽化器入口进液开关,并制定完善的火灾防控措施^[1]。

3 LNG气化站安全仪表的等级定级方法应用

3.1 SIL定级方法比选分析

LNG气化站安全仪表等级定级方法主要是采用以下几种方法:

3.1.1 风险矩阵法

采用基于分类的方法进行LNG气化站安全仪表的等级定级,使风险矩阵的每个坐标点对应一个SIL等级。

3.1.2 风险图法

采用相关参数对LNG气化安全仪表等级进行定性分析,包括危险事件的后果、危险区域的频度、未能够及时躲避危险事件的概率、不希望事件发生的概率等,由此实现对于LNG气化站安全仪表进行的等级分析。

3.1.3 保护层分析法

采用定量分析的方法对LNG气化站安全仪表进行等级分析,基于NG气化站工艺危险分析的前提,采用图表的方式列出风险管控措施,合理确定LNG气化站安全仪表的SIL等级。要明晰保护层分析法的应用规则和分析流程,借助于工艺危险分析识别的危险场景进行LOPA分析,在确定适宜的允许目标前提下。根据事故发生频率和后果等级进行风险评估和决策,采用相对应的风险管控策略。在进行独立保护层的识别过程中,要通过一系列IPL进行工艺风险规避和控制。

结合LNG气化站的实际情况,对于安全性要求不高的工艺系统可以采用风险矩阵法和风险图法进行SIL定级分析。而对于安全性要求较高的工艺系统则采用保护层分析法进行SIL定级分析^[2]。

3.2 LNG气化站SIL定级流程

对不同等级的LNG气化站要采用不同的定级方法和流程。一般来说,通常采用LOPA分析法进行1、2级LNG气化站的SIL定级,采用风险图/LOPA分析法进行3、4级LNG气化站的SIL定级,采用风险矩阵/风险图法进行5级LNG气化站的SIL定级。从而较好地保证LNG气化站安全仪表的评价效果^[3]。

4 LNG气化站安全仪表的改进与优化

4.1 冗余结构的改进与优化

冗余结构	1oo2
PFD	1.17E-003
PFS	1.61E-004
SIL	2

a. 单个分支中电磁阀的计算结果

冗余结构	1oo2
PFD	5.96E-005
PFS	4.78E-005
SIL	4

b. 单个分支中气动阀的计算结果

图2 1oo2冗余结构执行器的计算结果

对 LNG 气化站的执行器进行 1oo2 冗余配置, 使 LNG 气化站安全仪表执行器中涵盖 2 个电磁阀和气动阀。选取二取一表决逻辑 (1oo2) 进行改进和优化, 在可靠性指标保持不变的前提下, 使改进后 1oo2 执行器的 PFDavg 为 3.69×10^{-3} 、PFS 为 6.26×10^{-4} 、SIL 由 1 变为 2。

在 LNG 气化站执行器的 2oo2 改进方案之中, 使 LNG 气化站安全仪表执行器中涵盖 2 个电磁阀和气动阀。选取二取二表决逻辑 (2oo2) 进行改进和优化, 在各项可靠性指标保持不变的前提下, 使改进后 2oo2 执行器的 PFDavg 为 7.36×10^{-2} 、PFS 为 3.98×10^{-5} 、SIL 则保持 1 不变。

在 LNG 气化站执行器的 2oo3 改进方案之中, 使 LNG 气化站安全仪表执行器中涵盖 3 个电磁阀和气动阀。可以选择三取二表决逻辑 (2oo3) 对其进行改进和优化, 在可靠性指标保持不变的前提下, 使改进后 2oo3 执行器的 PFDavg 为 1.07×10^{-3} 、PFS 为 1.14×10^{-4} 、SIL 由 1 变为 2。

相较上述 LNG 气化站安全仪表冗余结构的改进优化方案可知, 该冗余结构适用于安全性要求低、长时间运行并对误停车率有严格要求的场景。2oo3 冗余结构则适用于安全要求高、对误停车率有严格要求的场景^[4]。

4.2 功能测试周期的改进与优化

在 LNG 气化站安全仪表的功能测试周期改进与优化中, 要在执行器 1oo1 冗余结构及失效数据不变的前提下, 进行安全仪表功能测试周期的缩减, 使之由 12 个月缩减至 6 个月。经计算可知, 传感器的 PFDavg 为 1.75×10^{-3} 、PFS 为 9.57×10^{-6} 、SIL 由 1 变为 2; 逻辑控制器的 PFDavg 为 2.75×10^{-5} 、PFS 为 4.28×10^{-5} 、SIL 由 1 变为 4。执行器的 PFDavg 为 1.96×10^{-2} 、PFS 为 3.29×10^{-6} 、SIL 为 1。

在执行器 1oo1 冗余结构及失效数据不变的前提下, 进行安全仪表功能测试周期的缩减, 使之由 6 个月缩减至 3 个月。经计算可知, 传感器的 PFDavg 为 1.75×10^{-3} 、PFS 为 9.57×10^{-6} 、SIL 由 1 变为 2; 逻辑控制器的 PFDavg 为 2.75×10^{-5} 、PFS 为 4.28×10^{-5} 、SIL 由 1 变为 4。执行器的 PFDavg 为 9.78×10^{-3} 、PFS 为 3.30×10^{-4} 、SIL 由 1 变为 2。

由以上数据可知, 功能测试周期缩减至 6 个月、由 6 个月缩减至 3 个月时, 均只能达到 SIL1 等级, 尚且无法达到实际需求。由此可见, 功能测试周期的缩短策略具有一定的局限性, 只能是在某种程度上提高系统的安全性和可靠性, 然而需要为此耗费大量的资源^[5]。

4.3 安全仪表自检改进与优化

在危险失效诊断覆盖率为 50% 时, 传感器的 PFDavg 为 1.75×10^{-3} 、PFS 为 9.57×10^{-6} 、SIL 由 1 变为 2; 逻辑控制器的 PFDavg 为 2.75×10^{-5} 、PFS 为 4.28×10^{-5} 、SIL 由 1 变为 4。执行器的 PFDavg 为 1.96×10^{-2} 、PFS 为 1.09×10^{-4} 、SIL 为 1。

在危险失效诊断覆盖率为 65% 时, 传感器的 PFDavg

为 1.75×10^{-3} 、PFS 为 9.57×10^{-6} 、SIL 由 1 变为 2; 逻辑控制器的 PFDavg 为 2.75×10^{-5} 、PFS 为 4.28×10^{-5} 、SIL 由 1 变为 4。执行器的 PFDavg 为 4.58×10^{-3} 、PFS 为 1.10×10^{-4} 、SIL 为 2。

由以上测试数据可知, 在危险失效诊断覆盖率为 50% 时, 仅是能够达到 SIL1 等级, 尚无法满足实际需求。当危险失效诊断覆盖率缩至 65% 时, 则能够达到 SIL2 等级, 满足实际所需的要求^[6]。

综上可知, 对 LNG 气化站安全仪表的功能改进组合方案最终确定为: 1oo1 冗余, TI=5 年, C^D=65%。该改进方案的 PFDavg 为 6.88×10^{-3} 、PFS 为 3.27×10^{-4} 。对尚未达到 SIL2 要求的安全仪表进行功能改进, 其改进措施包括有:

① SIF-2 安全仪表。可以将储罐进液气动阀和电磁阀 TI 缩减至 6 个月, 危险失效覆盖率提升至 65%, 超压 BOG 排放气动阀和电磁阀则选择 1oo2 冗余结构;

② SIF-5 安全仪表。储罐进出液气动阀和电磁阀 TI 缩减至 6 个月, 危险失效覆盖率提升至 65%;

③ SIF-7 安全仪表。储罐出液气动阀和电磁阀 TI 缩减至 6 个月, 危险失效覆盖率提升至 65%; 超压天然气排放气动阀和电磁阀选取 1oo2 冗余结构^[7]。

5 结束语

综上所述, LNG 气化站安全仪表的安全评价是极其重要的研究课题。要根据不同等级的气化站选取相契合的 SIL 定级方法, 对于 1、2 级 LNG 气化站采用定量的保护层分析法, 准确评估各保护层的风险水平; 对于 3、4 级 LNG 气化站则选取较为粗略的风险图法和保护层分析法。同时, 采用 HAZOP 分析方法识别 LNG 气化站的安全仪表功能, 进行安全仪表功能的 SIL 定级, 确定最优组合改进方案, 更好地满足使用需求。

参考文献:

- [1] 李鑫.LNG 气化站仪表自动化控制系统的设计方法[J]. 工程建设与设计, 2018(01):53-55.
- [2] 涂昆.LNG 气化站安全仪表系统功能安全评价方法研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2016.
- [3] 张铁军.LNG 气化站安全管理系统技术应用探讨[J]. 上海节能, 2012(3):10-14.
- [4] 孙潇.LNG 气化站安全仪表系统功能安全的评价方法初探[J]. 中国化工贸易, 2018(06):226.
- [5] 贺焕婷.LNG 气化站安全评价技术分析与研究[D]. 四川: 西南石油大学, 2013.
- [6] 王书惠, 宋学民, 张闯.LNG 气化站安全仪表系统设计探讨[J]. 自动化博览, 2013, 30(08):94-96.
- [7] 贾士栋, 邓青.LNG 接收站安全仪表系统安全度等级 (SIL) 浅析[J]. 仪器仪表标准化与计量, 2013(1):35-38.

作者简介:

白晓墨 (1986-), 男, 汉族, 江苏南京人, 本科, 工程师, 目前从事安全生产电气及仪表安全方面的研究。