

简析化工工艺危害分析及其发展趋势

化工工艺危害分析 (PHA) 的简介与发展趋势——近年来, 以江苏省响水县天嘉宜化工有限公司“3.21”特大爆炸事故为首的化工行业安全事故频发, 给人民的生命安全带来极大威胁, 对社会的稳定运行造成极大影响。在这一大背景下, 国家应急局及其下属机构开始对各类化工企业的工艺安全管理 (Process Safety Management, 简称 PSM) 体系的构建与运营进行彻底的排查, 就其中的不正确、不完善、不合规和不落地等问题进行严格的纠正。在 2019 年 8 月出台的应急 [2019] 78 号文中, 提出了《化工园区安全风险排查治理导则 (试行)》和《危险化学品企业安全风险隐患排查治理导则》, 并要求加以落实。而之前已经出台的如安监总管三 [2014] 116 号文等, 也被重新提上监管议程。一时间, 整个化工行业掀起了对 PSM 的学习研究与落地执行的热潮。

文 / 王威扬

令人遗憾的是, 即使在欧美发达国家, PSM 的诞生也是由一系列严重的安全事故所推动的结果。追溯 PSM 的发展历史, 1976 年意大利塞维索的二恶英泄露事故以及 1984 年美国印度波帕尔的甲基氰酸酯泄露事故直接导致了相关法规的出台。1992 年, 美国职业安全健康署 (简称 OSHA) 发布了《高危险化学品的工艺安全管理》, 该法规也推动了我国对于 PSM 的标准化工作, 并在 2010 年发布了 AQ/T 3034-2010《化工企业工艺安全管理实施导则》, 其内容基本与 OSHA 保持了一致。

而在我国对 PSM 的启蒙和

导入的过程中, 离不开美国杜邦公司的大力推广普及, 其通过各类培训, 把 PSM 的理念、体系和管理模型进行传递, 为我国化工行业的健康发展做出了巨大的贡献。

本文就杜邦 PSM 模型中的“工艺危害和风险分析” (Process Hazard Analysis, 简称 PHA) 这一模块进行展开, 见图 1。本文将介绍 PHA 是什么, 以及目前主要的 PHA 分析手法和其应用软件。

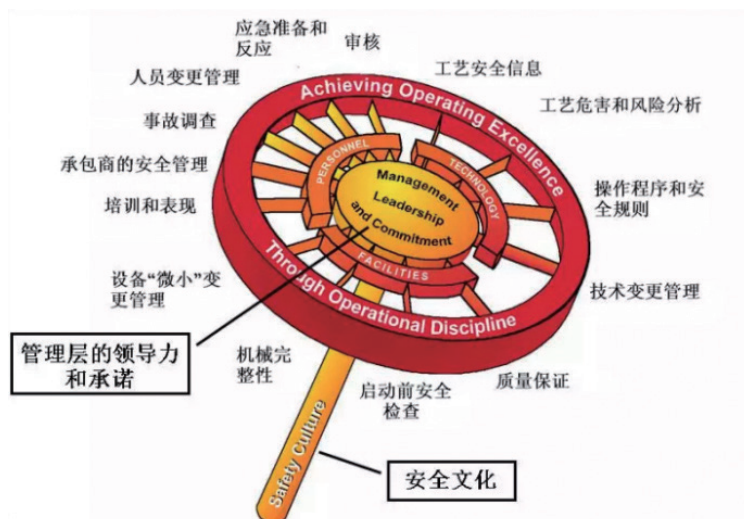


图 1 PSM 模型

本文作者系上海辰竹安全科技有限公司总经理助理。

PROCESS-Tip

* 更多信息请扫描二维码:



chem.vogel.com.cn

* 反馈编码: A200715

什么是 PHA？

Process Hazard Analysis, 简称 PHA, 指: 工艺危害和风险分析。在化工企业中, 其生产工艺的显著特点为: 高温高压、易燃易爆爆炸, 从而带来的典型危害有: 火灾、爆炸及有毒性气体的释放。

而 PHA, 即为: 模拟化工生产过程, 对可能引起的这几类危害进行建模分析, 将复杂的问题或现象用数字模型来描述, 对于这些危害的类别、出现条件以及后果等进行概略性地分析并提出对策, 从而使得危害发生的概率降低到预期的范围。

PHA 为 PSM 的核心要素, 是通过一系列有组织的、系统性的以及彻底的分析活动来发现和评估一个工艺过程的潜在危害, 并且提出降低危害发生的措施。

PHA 的工作由一个小组完成, 小组成员应具备工艺、设备、仪表以及电气的工程设计和操作维护的经验, 以及需要有危害与风险评估、功能安全和 HSE (Health、Safety、Environment) 方面的知识。

PHA 的流程其主要由如下的 9 个步骤组成:

- 1. 计划与准备;
- 2. 危害识别;
- 3. 工艺危害评估;
- 4. 后果分析;
- 5. 其他需要考虑的因素;
- 6. 风险评估;
- 7. 建议措施与报告;
- 8. 记录归档;
- 9. 管理层审核。

其中, 工艺危害评估与风险评估为 PHA 的重中之重。

目前, 国内所运用的主要的工艺危害评估的手法为: 危害与可操作性分析 (Hazard and Operability Analysis, 简称 HAZOP)。

在完成 HAZOP 之后所进入的风险评估阶段, 主要所运用的手法为: 保护层分析 (Layer of Protection Analysis, 下简称: LOPA), 若分析后该危害的残留风险的发生概率仍未达到预期, 将通过追加安全仪表功能 (Safety Instrument Function, 下简称: SIF), 并对安全完整性等级 (Safety Integrated Level, 下简称 SIL) 进行验证, 从而来确认残留风险的发生概率是否降低至预期。

以下将会对上述的 PHA 分析手法进行简要介绍。

主要的 PHA 分析手法

在适用于化工企业的 GB/T 21109-2017《过程工业领域安全仪表系统的功能安全》的标准中,

定义了功能安全的全生命管理周期, 见图 2 而上章所提及的 PHA 分析手法也分别匹配在其中。

HAZOP 分析

HAZOP 分析诞生在英国, 由化学工程师 T. 克莱兹在 41 岁时发明。1963 年, HAZOP 分析首次在帝国蒙德化学公司 (ICI) 新建苯酚工厂被应用, 在公司内部摸索和应用了 10 年之后才在英国普及推广, 并延续到全球。

HAZOP 分析以小组讨论会的方式对危害与可操作性问题进行详细研究。由小组长 (也称作 HAZOP 主席) 主导分析过程, 并安排一位记录员做记录。它首先把 P&ID 图样划分成若干节点, 之后针对每个节点采用一系列的引导词, 系统性地辨识出与设计

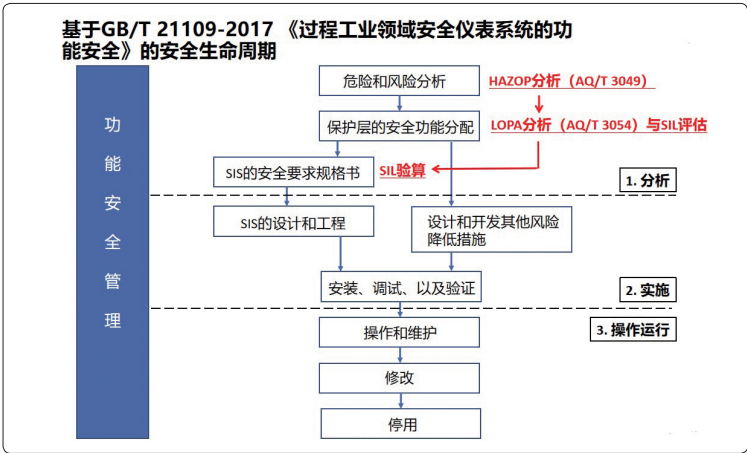


图 2 基于 GB/T 21109-2017 的安全生命周期

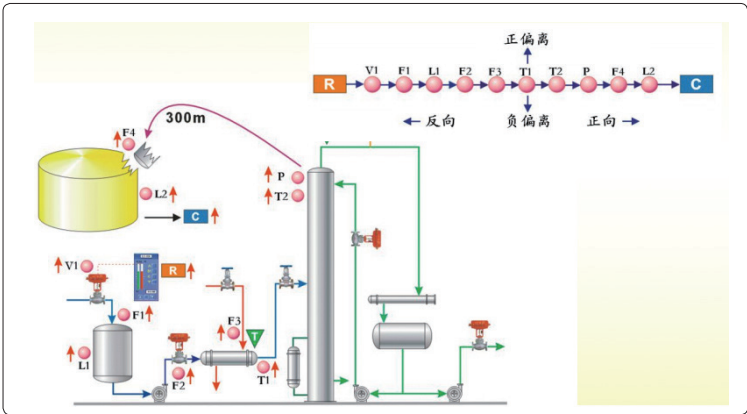


图 3 HAZOP 应用示例

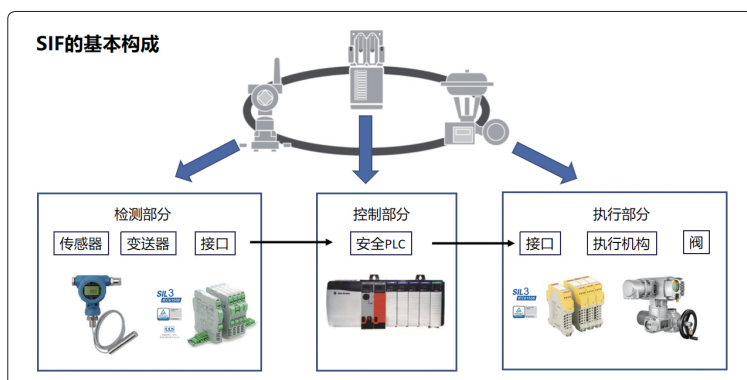


图 4 SIF 基本构成

意图的潜在偏差，并围绕着这些偏差，来探寻导致偏差的原因及其后果，以及已使用的安全装置。当小组确信这些装置的保护措施不当时，将提出相应的建议措施。

关于 HAZOP 分析的具体实施方法与示例，见图 3，可参考 AQ/T 3049-2013《危险与可操作性分析（HAZOP 分析）应用导则》。

LOPA 分析

LOPA 分析是一种半定量的分析评估技术，它以 HAZOP 的报告作为基础，对所辨识出的危害用图表列出其触发原因，防护措施（保护层），或者抑制其危险后果的减灾措施（抑制减轻层）。通过这些表格，确定总体上需要哪些风险降低措施，揭示是否需要额外的风险降低手段，确定所需要的 SIF，以及 SIF 应该满足的 SIL 等级。

关于 LOPA 分析的具体实施方法与示例，可参考 AQ/T 3054-2015《保护层分析（LOPA 分析）应用导则》。

SIL 验算

根据 LOPA 分析的结果，若要追加相应 SIL 等级的 SIF，则通过组建安全仪表系统，把系统中所划分出的 SIF 适用到 HAZOP 分析中所要求的危害保护措施中去。一个 SIF 由 3 部分组成，分别为：

检测机构部分，见图 4。每部分中所用到的仪器仪表可按照结构约束进行冗余配置，并运用马尔可夫模型，来算出 SIF 的 SIL 等级。把算出的 SIL 等级与 LOPA 分析所要求的 SIL 等级进行对比，若达成，则选用仪器仪表组成的 SIF 能够适用。

关于 SIL 验算的具体实施方法与实例，可参考：

GB/T 20438.5-2017《电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第 5 部分：确定安全完整性等级的方法示例》

GB/T 20438.6-2017《电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第 6 部分：GB/T 20438.2 和 GB/T 20438.3 的应用指南》。

国内主流的 PHA 分析软件

早在 1990 年时，就有学者开始研究 PHA 分析软件。而 1990 年，Windows 3.0 才刚刚开始问世，

那时的 Windows 功能很弱，所以软件的功能也非常的简单。后来随着 Windows 操作系统不断成熟，陆续地 PHA 分析软件也逐渐的发展了起来。

目前在国内市场上主流的 PHA 分析软件有 3 款，分别为：PHA-Pro、exSILentia 和 RiskCloud。

PHA 的发展趋势

未来的 PHA 分析及管理将往着一体化和平台化的方向发展。特别是在 SIS 系统导入之后的运营和维护管理，变更管理，行动跟踪管理，以及仪表和各控制元件的失效数据管理等，将由统一的软件平台进行统计和汇总，从而形成并达到如 GB/T 21109-2017 中所构筑的功能安全全生命周期的数字化、可视化以及网络化安全体系。目前，像 HIMA、Honeywell、以及歌略等厂家已经开始着力开发并陆续推出类似的一体化安全管理平台，相信在不久的将来，其会进一步的普及，来使得安全风险的管理变得更加的规范，并具有可落地、可执行性。

小结

本文对化工工艺危害分析（PHA）及其应用软件进行了简要分析，就 PHA 的分析过程和主要分析手法进行了说明，并对 PHA 分析软件以及其未来的发展趋势进行了介绍。相信通过以上内容，可以使初入门的安全工程师了解和掌握 PHA 的基础知识，根据本文所梳理的标准、所列举的步骤以及所介绍的分析软件，能够形成思维框架，并逐步地开展 PHA 的工作。



图 5 安全继电器