

基于多维度协同的 HAZOP 分析优化路径研究

左春生

广东金泰达安全科技有限公司，广东 广州 510220

[摘要]在深入剖析 HAZOP 分析现存问题的基础上，系统性地提炼出制约 HAZOP 分析效能的核心要素，构思出一套多维度协同优化策略。旨在通过全方位、深层次的整合与提升，打破传统分析模式的桎梏，不仅显著增强 HAZOP 分析的精准度与可靠性，更能以其为有力抓手，深度嵌入企业安全管理流程，从而在根源上筑牢安全防线，实现企业本质安全水平的飞跃式提升，为企业稳健发展保驾护航。

[关键词]管道及仪表流程图 (P&ID); 初始原因; 优化路径; 场景

DOI: 10.33142/ect.v3i10.18185 中图分类号: U693 文献标识码: A

Research on Optimization Path of HAZOP Analysis Based on Multi-dimensional Collaboration

ZUO Chunsheng

Guangdong Jintaida Safety Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510220, China

Abstract: Based on an in-depth analysis of the existing problems in HAZOP analysis, the core elements that constrain the effectiveness of HAZOP analysis are systematically extracted, and a multidimensional collaborative optimization strategy is conceived. Aiming to break through the shackles of traditional analysis models through comprehensive and deep integration and improvement, not only significantly enhancing the accuracy and reliability of HAZOP analysis, but also using it as a powerful lever to deeply embed into the enterprise safety management process, thus building a solid safety defense line at the root, achieving a leap forward in the intrinsic safety level of the enterprise, and safeguarding the stable development of the enterprise.

Keywords: piping and instrumentation diagram (P&ID); initial cause; optimization path; scene

引言

HAZOP 分析作为一种系统化的风险识别工具，通过引导词和团队协作，全面识别工艺流程中的潜在危险和偏差，提出改进措施，从而提高装置的安全性和可操作性。近年来，国家出台了一系列政策文件，明确要求涉及“两重点一重大”的企业每三年开展一次 HAZOP 分析，这不仅推动了 HAZOP 技术的普及应用，也为安全评价机构提供了广阔的发展空间。在实践中，HAZOP 分析的应用效果显著。通过细致分析工艺流程，企业能够发现设计缺陷、操作问题以及潜在的安全隐患，并提出针对性的改进措施，从而有效降低事故风险。

然而，HAZOP 分析在实际应用中也存在一些问题。部分企业对 HAZOP 分析的目的和意义认识不足，仅将其视为完成政府检查任务的手段，缺乏主动性和积极性。部分企业在人员配备和技术支持方面存在不足，导致分析结果的专业性和准确性受到影响。笔者总结十余年的实践，提出改进措施，为行业提供可复制的改进框架。

1 危险与可操作性分析 (HAZOP) 简介

HAZOP 从工艺参数（如温度、压力、流量、液位等）出发，发现可能的偏差，找出偏差的原因，分析后果并提出相应的对策以降低发生事故的可能性和风险性，从而提高装置的可靠性和安全性。HAZOP 分析的作用为：(1) 尽可能将危险消灭在建设项目实施早期优化工艺设计；(2) 通过识别和控制潜在危险，HAZOP 分析能够有效降低事故发生的风险，减少因事故导致的经济损失和声誉损害。(3) 帮助操作人员更好地理解工艺流程中的潜在风险，提高操作的安全性和可靠性。(4) 定期开展 HAZOP 分析，可以帮助企业不断发现新问题，持续改进安全管理水平。

一般的分析步骤如下：(1) 建立分析小组，由 1 人承担组长（主席）并由 1 人记录。另外还有仪表工程师、工艺工程师、设备工程师、操作专家等参与；(2) 资料准备，除管道和仪表流程图 PID 外，还需要其他相关专业的图纸；(3) 划分系统，从某个系统开始，规定引导词，分析偏差，找出原因；然后逐一进行每个系统的分析；(4) 分

析结果的汇总，将 HAZOP 分析的结果进一步归纳和整理，供设计人员修改设计并报送业主决策或者报企业主要负责人整改提升；（5）完成 HAZOP 报告后，对 PID 图不应做原则上的修改，如要修改，则须对修改后的 PID 图重新 HAZOP 分析；通过再一次 HAZOP 分析后，方可进行正式 PID 图修改。

2 危险与可操作性分析（HAZOP）分析常见问题

2.1 专业能力与资源不足

组建分析团队时，企业组织工艺主管、设备主管（机械、电气）、安全主管，操作人员参与的较少，当提出要求至少一名操作人员参与时，企业以作业人员资源有限不能参与，工艺主管可以代替，导致分析过程理论层面高一些，具体操作过程分析得少一些，关键操作以操作规程内容为准，分析花费主席大量精力查看操作规程内容，也为 HAZOP 分析结果指导操作效力大打折扣。

分析过程中设备主管（机械、电气）、工艺主管、安全主管专业能力不足，安全意识不够，想当然认为现在设备、调节能满足生产要求，主席提出改进安全措施时，有反对情绪，推托整改时间长、费用审批难等，甚至部分企业人员看不懂工艺流程图，主席要花费大量时间对工艺讲解，增加了分析时长，影响分析效果。

有些设备主管从来不看设计图纸，分析时否认设计意图、否认设备设施功效甚至否认设备有无，分析小组只能通过现场逐个设备对照后，再进行 HAZOP 分析，从侧面反映出企业管理处于传统式、经验式管理。

受生产任务、设备维护、精益生产管理限制，组织分析会议时长多次压缩，有时会议中途离开，影响分析质量。

2.2 HAZOP 分析资料缺失

工艺描述是工艺装置的核心技术文件之一，工艺描述从工艺包阶段就已经生成，对于在役装置，由于工艺装置可能经过改扩建或变更，完整、准确的工艺描述尤为重要，笔者受委托的部分精细化工企业 HAZOP 分析没有工艺描述，企业考虑工艺保密，工艺操作规程中的工艺数据规定的过于宽泛，只能依据工艺主管的口述进行分析。

管道及仪表流程图（P&ID）通过标准化符号和详细信息，为工艺系统的规划、建设和运行提供全面的技术支持，无论是设计阶段还是运营阶段，P&ID 都发挥至关重要的作用，在 HAZOP 分析实施过程中有的企业没有管道及仪表流程图（P&ID），有的企业设备进行了变更管道及仪表流程图（P&ID）仍提供原图，有的企业提拱上个世纪 80 年代手工绘制图纸，最基本资料的缺失或不足对分

析效果影响大。

涉及到两重点一重大的危险化学品企业都设有自动化控制系统，有些设置有安全仪表系统，缺少联锁逻辑图和因果关系表。中小型企业受成本限制，自动化控制委托外部有专业能力的机构或人员维护控制系统仪表，由于这些资料的缺失，分析团队不能有效理解联锁启动的原因和执行动作，也不能有效了解联锁系统的配置。

2.3 偏差原因与后果分析的缺陷

A 企业 HAZOP 分析报告中，一个偏离“FI—201 没有流量”的初始原因判定为：“停电”“操作工误关电源”“泵机械故障”“训练不当”“规程问题”“紧张”或“错误的指令”“P—201 泵停”。该分析混淆了初始原因、基本原因、根原因之间关系，没有理顺三者之间逻辑关系，为进一步明确控制措施带来了困难。

“FI—201 没有流量”的初始原因为“P—201 泵停”。进一步识别“P—201 泵停”的原因，会考虑到“停电”“操作工误关电源”“泵机械故障”等。这一层次的原因可以称为基本原因。从基本原因再进一步识别，以“操作工误关电源”为例，可能是“训练不当”“规程问题”“紧张”或“错误的指令”等根本原因。在 HAZOP 分析报告中记录基本原因就可以了，对于上述企业一个偏离“FI—201 没有流量”的初始原因判定为：“停电”“操作工误关电源 P—201 泵停”“P—201 泵机械故障”。如果细化到根本原因将会导致太多的潜在危险剧情，花费太多的时间和精力。因此，HAZOP 分析的惯例是在确定初始原因时不宜太深究根原因。如果要求一定要分析到根原因的深度，这种情况可能涉及一个重要的安全措施或者剧情过于复杂。

B 企业在液化石油气储罐液位过高，初始原因分析为：操作失误（卸车过多）、基本过程控制系统回路失效。已有保护措施中列出：（1）设置有自动定量卸车系统；（2）内操岗位操作法，液位可远传，操作人员可及时响应、调整；（3）DCS 系统设置高液位（ $\geq 13.3m$ ）、高高液位（ $\geq 14m$ ）报警；（4）DCS 系统设置有 $\geq 14m$ 时液位联锁关闭液相切断阀（XCV0201A）；（5）SIS 系统设置 $\geq 14m$ 液位时联锁关闭液相切断阀（XCV0201A）；（6）现场设置可燃气体探测器；（7）设置有消防炮可对泄漏液化气进行驱散、稀释；（8）设置有防火堤；（9）设置视频监控；（10）外岗操作法，巡视、维保、协同内操作业。初始原因在现有措施保护下发生频率 1.5×10^{-11} 。

事故场景是由事故初始原因起始，在偏离的推动下引发一系列中间事件，最终导致不利后果的事件序列。常见

安全措施有两类，第一类为防止类安全措施，只影响初始事件的发生频率，不能阻止事故剧情的继续传播，对危险传播有不同程度的阻止作用；另一类为减缓类安全措施，即只能减缓不利后果的严重度，不能影响初始事件的发生频率。

典型第一防止类措施包括：（1）合理设计和建造，并配套相应的检查、检测和维护措施，以保障过程系统持续的机械完整性。（2）基本过程控制系统（BPCS），以确保控制系统成功地响应预期的变化。（3）培训操作人员以降低错误执行操作程序的可能性。（4）隔离、专用设备或其他措施降低不相容物料被混合或接触的可能性。（5）物料、设备、操作规程、人员和技术的变更管理。

常见减缓类保护措施：（1）密闭卸放措施，例如安全卸放阀，从而缩短危险料直接排放到大气后果事件的持续时间。（2）二次储存系统，例如双层墙、二次围护、防火堤。（3）抗爆墙和防火墙。（4）火灾、泄漏探测和报警系统。（5）自动或远程启动的隔离阀。（6）灭火器、水喷淋系统和消防水炮，以及水喷淋、幕等有害物质蒸气云抑制系统。（7）有人建筑物的防爆结构设计。（8）适用于特定后果事件的个体防护装备。（9）应急响应和应急管理规划。

B企业在液化石油气储罐液位过高，发生溢罐，遇火源发生火灾爆炸事故。初始原因分析为：基本过程控制系统回路失效。已有保护措施中列出：（1）设置有自动定量卸车系统；（2）外岗操作法，巡视、维保、协同内操作业。（3）SIS系统设置 $\geq 14m$ 液位时联锁关闭液相切断阀（XCV0201A）；初始原因在现有措施保护下发生频率 1.0×10^{-4} 。其他不能作为有效保护措施。

2.4 分析报告质量问题

分析工作表不完整或不规范，HAZOP分析需要详细记录分析过程和结果，包括每个危险与可操作性问题的发生原因、预防措施、报警装置等信息。然而，部分报告的分析工作表存在不完整、不规范的问题，例如未分条记录每个问题，或未使用编号系统确保唯一标识。

建议措施不具体或可行性不足：报告中提出的减缓措施和建议往往缺乏针对性和可操作性，未能结合实际情况提出切实可行的改进方案。例如，偏差：加热炉出口温度升高。原因：烧料气控制阀故障开。后果：加热炉炉管泄漏，引发加热炉着火、爆炸，造成人员伤亡。建议：增设回热炉出口温度高高联锁切断加热炉主燃料气。加热炉炉管泄漏着火措施为切断主燃料气，显然不是有效控制措施。

建议措施应该遵循预防为主的方针，事故的发生是从原因开始，然后出现某种偏离，这种偏离继续发展导致事

故的后果。根据事故发生的路径提出建议。

报告格式和排版问题：报告的格式和排版问题也较为普遍，例如页码颠倒、标题编号错误、错别字较多、单位符号不规范等，这些问题虽然看似小，直接影响 HAZOP 分析成果。

3 HAZOP 分析多维度协同优化

3.1 初始原因分析

初始原因（事件）是各种根原因的结果，包括外部事件、设备故障或人员失误。常见原因有 7 方面：（1）设备/材料问题有缺陷或失效的部件；有缺陷或失效的材料；有缺陷的焊接处、合金焊或焊剂连接处；装运或检验引起的错误；电气或仪表干扰；污染。（2）规程问题有缺陷或不适当的规程；无规程。（3）人员失误不适宜的工作环境；疏忽了细节；违反了要求或规程；语言交流障碍；其他人员失误。（4）设计问题不适当的人机界面；不适当的或有缺陷的设计；设备或材料选择错误；设计图、说明或数据错误。（5）训练不足没有提供训练；实践不足或动手经验不足；不适当的要领；复习训练不足；不适当的资料或描述。（6）管理问题不适当的行政控制；工作组织/计划不足；不适当的指导；不正确的资源配置；策略的定义、宣传或强制不适当；其他管理问题。（7）外部原因天气或环境条件；供电的失效或瞬变；外部的火灾或爆炸；失窃、干涉、破坏、怠工、贿赂或损害公物行为。

3.2 现有安全措施分析

在分析现有安全措施和建议安全措施时，分析团队应首先忽略现有的安全措施（例如报警、关断或者放空减压等），在这个前提下分析事故剧情可能出现的最严重后果。这种分析方法的优点是，能够提醒分析团队关注可能出现的最严重的后果，也就是最恶劣的事故剧情。

分析团队进而分析已经存在的有效安全措施，还可以讨论现有的安全措施是否切合实际，能否有效实施，分析团队继续考虑是否需要增加建议的安全措施（有时可能是减少现有安全措施），建议措施保护层要独立、有效、可审查，从而确保分析团队所分析的安全措施对可能出现的最严重事故剧情能够得到有效的保护。安全措施可以是工程手段类型，也可以是管理程序类型。所有分析讨论的内容，在得到团队的一致确认后，应进行详细的记录。在对分析危险或者可操作性问题进行定性风险评估时，要依赖分析团队对初始事件可能的概率和后果严重度的经验估计和判断。

3.3 优化路径

加强团队协作：（1）选拔具备丰富经验和专业知识的

人员组成分析团队，包括工艺工程师、设备工程师、安全工程师、操作人员等。定期组织培训，提升团队成员对 HAZOP 分析方法、引导词应用、风险评估等方面的理解和技能。(2) 明确各成员在分析过程中的具体职责，如主席负责整体协调和引导分析方向，记录员负责详细记录分析过程和结果，其他成员负责提供专业领域的见解和建议。

(3) 建立有效的沟通机制，鼓励团队成员之间积极交流、分享信息和观点。定期召开团队会议，讨论分析进展、解决问题，并确保每个成员都对分析目标和要求有清晰的认识。(4) 鼓励团队成员分享各自的经验和知识，形成良好的知识共享氛围。对于新加入的成员，安排经验丰富的人员进行指导和培训，确保知识的传承和团队整体水平的提升。

完善资料准备：(1) 全面收集与分析对象相关的资料，包括工艺流程图、管道及仪表流程图(P&ID)、操作规程、设备规格说明书、事故报告、维护记录等。对这些资料进行系统整理和分类，确保资料的完整性和易获取性。(2) 对收集到的资料进行严格审核和验证，确保其准确性和时效性。对于存在疑问或不完整的资料，及时与相关部门或人员进行沟通和核实，必要时进行现场勘查或数据验证。

(3) 建立资料更新机制，及时跟进工艺流程、设备设施等方面的变化，对相关资料进行更新和完善。定期对资料进行维护和整理，确保资料的可用性和可靠性。(4) 利用数字化工具和平台，对资料进行电子化存储和管理，方便团队成员随时查阅和共享。同时，通过数字化管理提高资料的检索效率和安全性，防止资料丢失或损坏。

规范分析流程：(1) 根据工艺流程和系统结构，将分析对象划分为合理的节点，并确定各节点的分析优先级。优先分析那些对安全和生产影响较大的关键节点，确保分析工作的高效性和针对性。(2) 引导词选择与应用：根据

分析对象的特点和分析目标，选择合适的引导词，并按照引导词的定义和用途进行系统应用。对于每个节点和参数，逐一结合引导词进行偏差分析，确保分析的全面性和细致性。(3) 风险评估与分级：建立科学合理的风险评估标准和方法，对识别出的偏差和风险进行量化评估。根据风险的严重性和发生概率，对风险进行分级，以便确定相应的应对措施和优先级。(4) 记录与报告编制：详细记录分析过程中的每一个步骤、发现的问题、提出的建议以及相关的讨论和决策。编制规范的 HAZOP 分析报告，包括分析背景、目的、方法、结果、建议等内容，确保报告的完整性和可读性。

HAZOP 分析是一种全面、系统的风险识别和管理工具，在 HAZOP 分析中，要全面收集与分析对象相关的资料、选拔具备丰富经验和专业知识的人员组成分析团队、合理划分节点、规范分析流程、跟踪分析输出落实，从多维度协同优化，助力企业在复杂的安全管理挑战中实现可持续发展。

[参考文献]

- [1] 吴重光.危险与可操作性分析(HAZOP)应用指南[M].北京:中国石化出版社,2021.
 - [2] 中国化学品安全协会.危险与可操作性分析质量控制与审查导则:T/CCSAS 001—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
 - [3] 孙明郁.HAZOP-LOPA 分析方法在化学品综合罐区中的应用研究[J].广东化工,2017,44(4):101-102.
 - [4] 焦立霞,王国超.HAZOP 分析法在精细化工反应风险预测中的应用研究[J].山西化工,2023,43(9):181-182.
- 作者简介：左春生（1974.5—），本科，专业：化学工程与工艺，职务：副总经理，目前就职于广东金泰达安全科技有限公司。