

A HAZOP Based Model for Safety Management

Risk Assessment in Petrochemical Plants

Sifeng Jing^{1,3}, Xiwei Liu^{1,2}, Changjian Cheng^{1,3}, Xiuqin Shang^{1,2}, Gang Xiong^{1,2}

1. Beijing Engineering Research Center of Intelligent Systems and Technology, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100190. 2. Dongguan Research Institute of CASIA, Cloud Computing Center, Chinese Academy of Sciences, Songshan Lake, Dongguan, China, 523808. 3. The State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100190.

Abstract—To identify specific safety management vulnerabilities that lead to deviations and failure of safeguards, a safety management risk assessment model is proposed in this paper. Firstly, accident cases happened in a petrochemical plant from 2000 to 2013 are analyzed. The indirect common causations of accidents are found and chosen as risk analysis factors. Then, the actual process of safety management is investigated, and the main framework of risk assessment is made. Finally, the model is built based on parallel management theory, accident causation theory and classic HAZOP technical. And targeted measures of such vulnerabilities is made. Compared with classic HAZOP technical, the model has advantages in searching for risks from technical and managerial two levels. The method provides a new way for the safety management objectives of changing “accident handling, postmortem prevention” to “intrinsic safety, advance prevention” in petrochemical plant.

Keywords—parallel management, management risk assessment, HAZOP technical, accident causation theory, petrochemical plant

一种基于 HAZOP 的石化企业管理风险评估方法

荆思凤^{1,3} 刘希未^{1,2} 程长建^{1,3} 商秀芹^{1,2} 熊刚^{1,2}

1. 中国科学院自动化研究所北京市智能化技术与系统工程技术研究中心, 北京, 中国
2. 中国科学院云计算产业技术创新与育成中心, 东莞, 中国
3. 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京, 中国

摘要 为挖掘造成工艺偏离及安全防护屏障失效的管理风险, 本文提出了一种石化企业管理风险评估方法。本文主要做了以下三方面工作, 首先, 分析了某大型石化企业 2000 年-2013 年典型事故案例, 寻找导致事故的间接共性原因, 精确定位风险评价因子。接着, 调研了石化企业的实际安全管理过程, 以保证模型的可用性。最终, 以经典的 HAZOP 分析方法为基础, 基于平行管理理论, 结合现代事故致因理论, 构建石化企业管理风险评估模型, 并依据模型制定出风险源消除措施。将该模型与经典的 HAZOP 模型对比分析可知, 该模型有利于企业从技术与管理两个层面彻底排查风险源, 为实现石化企业变“事故处理、事后防范”为“本质安全、超前预防”的安全管理目标提供了新思路。

关键词 平行管理理论, 管理风险评估, HAZOP 模型, 事故致因理论, 石化企业

1. 引言

“安全第一、预防为主、综合治理”。对于石油化工企业而言, 构建科学合理的风险分析模型对正在运行的生产系统展开风险分析和评价, 制定事故预防控制策略是保障安全生产的首要任务。

国内外现行的风险分析模型有很多, 危险与可操作性

(HAZOP)研究[1]是以系统工程为基础的一种可用于定性分析或定量评价的危险性评价方法, 用于探明生产装置和工艺过程中的危险及其原因, 寻求必要对策, 该方法因系统性、专业性在石化企业得到广泛应用。通过分析生产运行过程中工艺状态参数的变动, 操作控制中可能出现的偏差, 以及这些变动与偏差对系统的影响及可能导致的后果,

找出出现变动偏差的原因，明确装置或系统内及生产过程中存在的主要危险、危害因素，并针对变动与偏差的后果提出应采取的措施。

根据现有的事故致因理论，事故的发生主要是由于管理系统不当所造成的基本风险因子失效，导致不安全的行为产生，造成工艺偏离以及安全防护屏障失效，从而引发事故。由此可知，找到造成工艺偏离及安全防护屏障失效的管理风险，才能彻底预防事故的发生。然而，现有的 HAZOP 风险分析模型偏重于从技术层面挖掘系统风险，能找到导致系统偏差及风险的直接原因，在从管理层面确定导致系统偏差及风险的间接共性原因和根本原因方面存在明显不足，这不利于企业从根本上消除风险源。

傅贵[2]等为精确定位事故致因的“管理漏洞”，基于组织行为学原理提出了行为安全“2-4”模型，总结归纳出现代事故致因链，并将其成功应用于煤矿安全管理中。

为此，本文在平行管理理论[3-10]的指导下，从复杂系统的角度，结合事故致因理论，将导致工艺偏差、设备故障的人员行为偏差和组织管理缺陷纳入风险分析范畴，在 HAZOP 风险分析的基础上，构建石化企业管理风险评估模型，提升企业安全生产管理水平。

2. 文献综述

HAZOP 方法由于其系统性、全面性、专业性、有效性而得到广泛应用。它是通过分析工艺方面及人为操作方面的缺陷而识别危险源，是寻求危险源的专业分析工具。然而，现行的 HAZOP 模型也有其局限所在，没有实现对风险的评估量化、耗时耗力、没有实现对导致偏差的人为因素和组织管理因素进一步评估和修正。

为克服 HAZOP 方法的局限性，人们不断将 HAZOP 分析方法丰富完善。国内，张锐[11]等将 FMEA 方法和 HAZOP 分析方法相结合应用于氯乙烯聚合生产过程风险分析，以更全面合理的找出导致事故发生的不安全因素。白永忠[12]等人将 HAZOP 与风险矩阵组合，实现系统风险的定量评估，以利于领导决策。周荣义[13]等将保护层分析方法引入 HAZOP 分析，丰富 HAZOP 的分析结果，实现对现有保护措施的可靠性进行量化评估。王厚尚[14]等提出了基于实时数据库技术的 HAZOP 专家系统框架。卢琳琳[15]等提出基于因果依赖图的 HAZOP 推理方法。吴重光[16]等人提出基于知识本体的过程安全分析信息标准化，实现安全分析的标准化、智能化。可以看出，目前的研究工作主要围绕实现 HAZOP 风险分析的量化评估和 HAZOP 分析技术的自动化、智能化和标准化方面展开，基于 HAZOP 方法开展企业管理风险评估的研究甚少。

3. 基于 HAZOP 的安全管理风险分析模型

为寻找诱发事故的共性因素，制定预防事故的有效措施，构建综合、全面的风险管控模型，本文分析了 2000-2013 年某大型石油化工企业的事故案例。精确定位风险管控对象，彻底消除危险源，变“事故处理、事后防范”为“本质安全、超前预防”。

基于对事故案例的统计分析，本文列出了 13 年来导致该企业事故的 23 条主要致因，详见表 1。将表 1 所列事故致因与石化企业的实际管理过程相结合，可知这些事故致因都可归结到生产车间在工艺管理、设备管理、安全管理、班组管理方面的不足与缺陷。

表 1 事故致因表

序号	事故致因	序号	事故致因
1	操作人员违章操作	13	人员的麻痹大意
2	操作人员安全意识差	14	工艺设计缺陷
3	没有意识到的风险	15	工艺变更管理不足
4	操作人员技能不足	16	部门间的合作协调不足
5	操作人员责任心不强	17	人员的劳动强度大
6	车间层面制度执行不严	18	相应管理制度不全
7	应急管理缺陷	19	天气
8	相应管理制度不完善	20	操作人员身体素质
9	设备设计缺陷	21	风险难以预测性
10	设备维护不到位	22	施工项目管理不足
11	安全监管不到位	23	事故现场客观条件
12	安全监控设施不全		

基于上述工作，结合经典的 HAZOP 风险分析技术，得出石化企业管理风险分析模型，见图 1。该模型的总体思想是在经典 HAZOP 分析的基础上，对于造成企业不可接收风险偏差的所有可能直接原因进行进一步的分析排查，寻找导致风险偏差的间接共性原因、根本原因、根源所在，并有针对性的制定详细措施，从根本上彻底消除风险源。根据该模型，首先将造成风险的所有可能直接原因按人为因素，工艺因素、设备因素、安全管理、意外进行细化归类。然后，将人为因素细化为习惯性行为和一次性行为，将工艺因素细化为工艺操作管理制度、工艺管理制度执行度或是工艺技术本身，将设备因素细化为设备维护管理制度，设备维护管理制度执行度或是设备技术水平本身，将安全管理因素细化为安全管理制度、安全管理制度执行度和安全设施本身。最后，将利用该模型找到的风险分类处理，从管理制度、企业文化氛围，生产车间技术装备水平等方面着手，从根源上消除风险源，保障安全生产，具体分类处理规则如下表 2 所示。

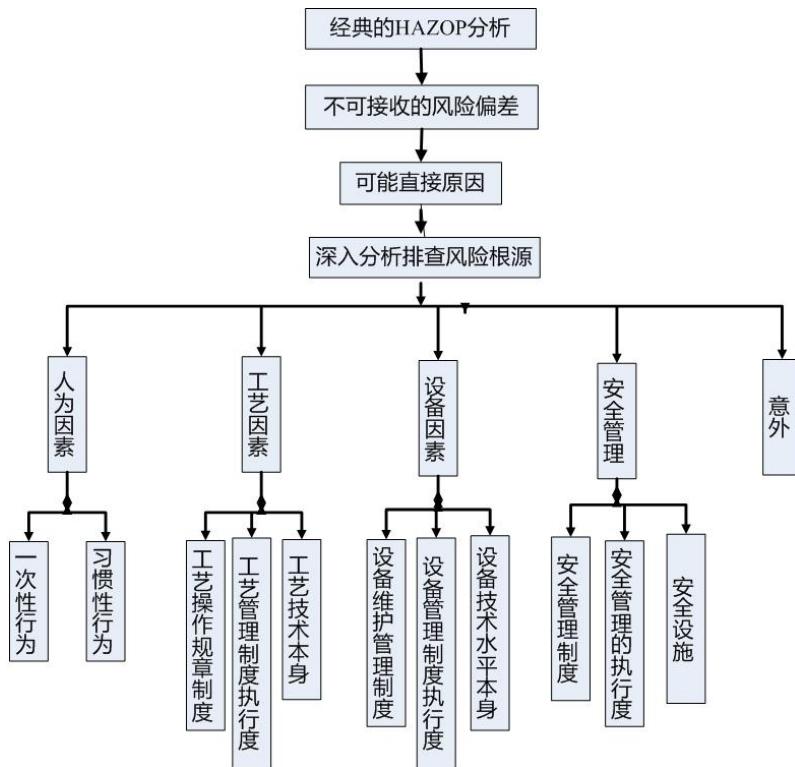


图3 石化企业管理风险分析模型

表2 风险源处理规则

偏差致因	一次分类	根本原因	消除措施
所有可能直接原因	人为因素	一次性行为	修正班组管理，实现管理要以人为本，提升员工责任心
		习惯性行为	不断完善员工的安全培训方式，提升员工安全素质和意识
	工艺因素	工艺技术本身	加大技术改进，保障生产安全
		工艺操作规章制度执行度	加强企业安全文化建设，营造企业整体安全氛围
		工艺操作规章制度	根据偏差具体情况，修正工艺管理规章制度，保障执行效果
	设备因素	设备技术水平本身	加强设备维护管理，保障安全生产
		设备管理制度的执行度	加强企业人文管理，提升员工责任心
		设备维护管理	修正设备维护管理制度，保障其合理性和执行性
	安全管理	安全管理制度	修正安全管理制度，保障实施效果。
		安全管理制度的执行度	完善企业管理制度，实现全体员工“我要安全”氛围
		安全设施	完善现有系统安全保障设施
	意外因素	根据具体情况分析	提升企业风险分析水平，完善现有应急预案

表 3 经典的 HAZOP 分析模型

引导词	偏差	原因	主要后果	现有安全控制措施	L	S	风险度(R)	建议改正/控制措施
-----	----	----	------	----------	---	---	--------	-----------

表 4 基于 HAZOP 的石化企业管理风险分析模型

引导词	偏差	原因		主要后果	现有安全控制措施	L	S	风险度(R)	建议改正/控制措施	
		直接原因	间接共性原因						技术措施	管理方案

4. 模型讨论

(1)本文所构建的石化企业管理风险分析模型与经典 HAZOP 模型相比，其主要优势在于该模型注重挖掘导致生产系统偏差的共性原因，强调从技术和管理两个层面挖掘风险源，并从根本上消除风险，预防事故发生。该模型与经典 HAZOP 模型的比较见表 3、表 4。

(2)本文所提到的生产系统偏差，在经典 HAZOP 分析的基础上，参考所分析生产车间近一年事故案例及隐患情况最终确定，以保证所得管理风险评估结果的使用性。

(3)利用该模型展开管理风险评估的过程中，需依据所评价车间的具体生产管理方案进一步细化明确风险评价因子。

5. 结论

本文在经典 HAZOP 分析技术的基础上，结合现代事故致因理论，将企业管理缺陷和人为因素纳入风险分析范畴，为石化企业安全管理提供了新思路。基于石化企业的实际项目经验和对 13 年大型石化企业事故案例的详细分析，寻找诱发事故的共性因素，并构建石化企业管理风险分析模型，为企业精确定位风险根源提供技术支持。利用该方法开展石化企业安全评价，为企业有针对性制定风险预防措施提供决策支持。该方法的成功实施，将大大提升石化企业安全管理水平。

参考文献

- [1] D.Jordi, F.Vasilis, A.V.Juan etc. Hazard and operability(HAZOP) analysis A literature review. Journal of Hazardous Materials,

no.173,pp.19-32,2010.

- [2] 傅贵, 殷文韬, 董继业等.行为安全“2-4”模型及其在煤矿安全管理中的应用.煤炭学报, vol.38, no.7, pp1123-1128, 2013. 6, pp. 1155-1159, 1999.
- [3] F.Y. Wang, J.S. Lansing. From Artificial Life to Artificial Societies—New Methods for Studies of Complex Social Systems. Complex systems and complexity science, vol.1, no.1, pp.33-41, January 2004.
- [4] F.Y. Wang. Parallel system methods for management and control of complex Systems. Control and Decision, vol.19, no.5, pp.485-489, May 2004.
- [5] F.Y. Wang. Computational Experiments for Behavior Analysis and Decision Evaluation of Complex Systems. Journal of system simulation, vol.16, no.5, pp.893-897, May 2004.
- [6] F.Y. Wang. Computational Theory and Method on Complex System. China Basic Science. Science Frontier. May 2004.
- [7] C.J. Cheng, F.Cui, L.F.Lee. Parallel Management Systems for Complex Productions: Methods and Applications. Complex Systems and Complexity Science, vol.7, no.1, pp.24-32, September 2010.
- [8] G. Xiong, F.Y. Wang, M.Yu. Parallel Evaluation Method to Improve Long Period Ethylene Production Management. Control Engineering of China, vol.17, no.3, pp.401-406, May 2010.
- [9] Z. Shen, F.Y. Wang and C. J. Cheng. A fuzzy model on how the management affects a worker's State, 2010 IEEE International

Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, Qingdao, Shandong, China . July,2010.

- [10] S.F. Jing, C.J. Cheng, and G. Xiong, "ACP based 3D emergency drills system for Petrochemical Enterprises," in proceedings of 2012 World Congress on Intelligent Control and Automation, Beijing, China, pp. 4126-4131, July 2012.
- [11] 张锐, 石超, 方来华. 基于 FMEA 和 HAZOP 的 综合分析方法及应用研究. 中国安全生产科学技术, vol.7, no.7,pp146-150,July 2011
- [12] 白永忠, 蒋军成. HAZOP 与风险矩阵组合技术应用. 中国安全生产科学技术, vol. 8,no.8 ,2012.
- [13] 周荣义,李石林,刘何清.HAZOP 分析中 LOPA 的应用研究。中国安全科学学报,vol.20,no.7, Jul.2010.
- [14] 王厚尚,赵东风,刘义.基于实时数据库技术的 HAZOP 专家系统框架,vol.9,no.4,April 2013.
- [15] 卢琳琳,张来斌,梁伟等. 基于因果依赖图的 HAZOP 推理方法研究.中国安全科学学报,vol.22,no.2, Feb.2012.
- [16] 吴重光,许欣,纳永良等.基于知识本体的过程安全分析信息标准化.化工学报,vol.63,no.5,May 2012.