

分析测试

危险与可操作性分析研究

杜廷召, 田文德, 任 伟

(青岛科技大学化工学院, 山东 青岛 266042)

摘要: 危险与可操作性分析(HAZOP)是过程工业中广泛应用的识别危险与操作性问题的安全分析技术之一,尤其是在化工、石化等高危行业。概述了危险与可操作性分析方法基本原理的基础上,将HAZOP产生以来的相关研究做出分类并进行了综述,包括HAZOP特征研究、扩展HAZOP分析领域、开发自动化HAZOP分析专家系统和动态模拟辅助的HAZOP分析。最后对HAZOP技术的研究前景做出了展望。

关键词: HAZOP; 危险与可操作性分析; 过程危险性分析; 安全分析

中图分类号: X937

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2010)07-0090-04

Progress and prospect in hazard and operability analysis

DU Ting-zhao, TIAN Wen-de, REN Wei

(College of Chemical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: Hazard and Operability Analysis(HAZOP) is one of the techniques most widely used in safety analysis to identify hazards and operability problems in process industry, especially in industry with high risk like chemical industry, petrochemical industry *et al.* The fundamental principle of HAZOP is reviewed. The research related to HAZOP around the world is classified into four categories according to its research scope, including characteristics study, HAZOP scope extending, developing automated HAZOP expert systems and HAZOP aided with dynamic simulation. The research prospect of HAZOP is previewed in the end.

Key words: HAZOP; hazard and operability analysis; process hazard analysis; safety analysis

HAZOP(Hazard and Operability Analysis)技术最早是在20世纪60年代中期由英国帝国化学公司(ICI)首先开发应用的。最初定义为:HAZOP分析是由各专业人员组成的分析组对工艺过程的危险和操作性进行分析,即对新建或者已有的过程装置及工程本质进行正式的、系统的严格审查来评估单个装置的危险可能性和可能对整套装置造成的影响。HAZOP分析的目的在于识别已有的高危险性装置的潜在危险,除去导致重大安全的问题,例如有毒物质泄漏、火灾和爆炸等。经过几十年的发展,HAZOP分析不仅能够识别危险,而且可以辨识操作问题,其应用范围已经扩大到其他领域,例如医疗诊断系统、路况安全监测、可再生能源系统、可编程电子系统等。

1 HAZOP 分析基本原理

HAZOP的理论依据是:工艺流程的状态参数(如温度、压力、流量等)一旦偏离规定的基准状态,就会发生问题或出现危险。它需要由一个由多学科且经验丰富的成员组成的分析团队,首先依据过程

流程图和管道装置图将流程分为易处理的节点,以此确保对过程中的每一个装置进行分析;然后针对节点内的每个设备、操作逐一进行检验;匹配引导词(none, less, more等)与工艺参数(flow, pressure, temperature等)组成有意义的偏差及操作问题,并由偏差进行事故剧情的向前向后分析,最终辨识偏差原因并分析偏差后果。

常规HAZOP分析流程^[1]见图1。

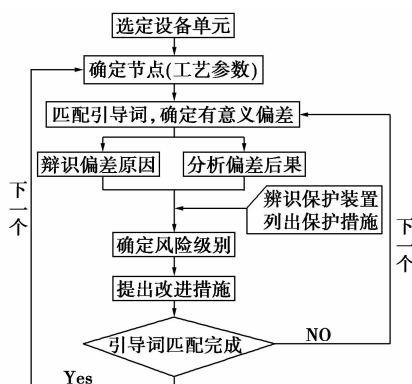


图1 常规HAZOP分析流程图

收稿日期:2010-02-08

基金项目:山东省自然科学基金(ZR2009BM033)

作者简介:杜廷召(1986-),男,硕士生,研究方向为化学工程, dutingzhao@gmail.com; 田文德(1973-),男,副教授,博士,硕士生导师,研究方向为过程系统工程。

2 HAZOP 分析研究进展

HAZOP 分析技术经过几十年的研究得到了长足的发展,根据研究领域的不同可以分为:HAZOP 特征研究、扩展 HAZOP 分析领域、开发自动化 HAZOP 分析专家系统和动态模拟辅助的 HAZOP 分析 4 个主要领域。

2.1 HAZOP 特征研究

通过与其他过程危险性分析方法的对比的研究,可以确定 HAZOP 分析的研究范围,明确与其他分析方法相比的优缺点。Suokas 和 Rouhiainen^[2-3] 分别研究了 HAZOP、动作误差分析(AEA)、工作安全分析(WSA)和监督管理与风险树分析(MORT)4 种分析方法的覆盖范围及其程序,并结合大量的调查证实了 HAZOP 的定性分析能力及对具体偏差的有效识别能力。对比发现 HAZOP 并未深入考虑人为因素的影响,而且缺少对于管理系统的分析,他们强调了对于管理系统分析的重要性,提出应对对管理系统的分析作为安全分析尤其是 HAZOP 分析的必备要素。Hoepffner^[4] 分别研究了事故树分析(Fault Tree Analysis, FTA)、故障类型和影响分析(Failure and Effects Analysis, FMEA)和 HAZOP 分析的特征,认为 HAZOP 结合了 FTA 和 FMEA 的优势:首先依据演绎法假设偏差,然后由归纳法得到偏差对于系统的影响,因此 HAZOP 相比其他常用分析方法应用更广泛。

2.2 扩展 HAZOP 分析领域

伴随着 HAZOP 在特定系统中的应用及对对这些系统的特性进行分析,研究者认为有必要对 HAZOP 进行适当修改或者考虑与其他过程危险性分析方法进行结合。

2.2.1 与其他 PHA 技术结合

对比 HAZOP 和 FMEA 不难发现,两者系统结构上非常相似,例如:在危险识别环节,HAZOP 利用引导词和工艺参数来假定偏差,而 FMEA 则考虑特定装置的失效模式。这种相似性使得有大量的研究来进行两者的结合以提高分析效率和质量。Post^[5] 通过回顾过程危险性分析与可靠性分析的发展过程,提出了由 HAZOP 和 FMEA 相结合的分析方法的观点,并详细研究了如何进行 2 种方法的整合。Trammel 和 Davis^[6] 开发了结合 HAZOP 和 FMEA 优势的过程危险混合分析技术,并用来提高半导体制造工艺系统的正常运行时间。后来他们又把保护层分析(Layer of Protection Analysis, LOPA)加入到这

种混合分析技术中,提高了该技术的评估能力^[7]。HAZOP 部分在混合系统中用来简化系统界限选取和危险识别;FMEA 部分有效地进行危险评估;而 LOPA 则用于评估已有或拟采取的独立保护层和识别有效的控制措施。Burgazzi^[8] 分别使用 HAZOP 和 FMEA 2 种方法对被动系统进行了分析,通过 FMEA 的分析结果来确定导致被动系统不确定性的主要原因,使用 HAZOP 进行定性分析及具体危险识别,并验证 FMEA 的分析结果。

2.2.2 定量化 HAZOP 分析

由于实际过程中分析的要求,有许多研究将 HAZOP 从危险识别扩展到危险影响评估中即定量化的安全分析。Bendixen 和 O'Neill^[9] 认为 HAZOP 和 FTA 是定量分析的最佳组合,他们在定量风险评估中的经验证实了执行常规分析有大量的不确定因素,他们认为将 HAZOP 与 FTA 紧密结合可以从以下 3 个方面来减少安全分析的不确定性:①确定引发危险的初始事件;②确定初始事件的发生频率;③确定评估危险影响的标准。Ozog 和 Bendixen^[10] 的研究证明 HAZOP 与 FTA 的组合是识别、量化和控制风险的最有效方法:HAZOP 是对已有和新建过程装置进行危险识别的通用方法,而 FTA 是最合适的危险定量技术。Demichela^[11] 等针对具有由同一过程变量偏差引发多重保护的装置的安全分析开发了递归可操作性分析方法,其研究证明将 HAZOP 分析结果和 FTA 联合起来,可以有效地分析得到可能导致危险事件的偶然序列,后来进行的研究证实了这种方法在系统危险识别中的有效性。

Shafaghi 等^[12] 研究了检查表法(Checklist)和 HAZOP 的组合,并将这种过程危险混合分析技术应用到一个吸收式热泵的安全分析。Checklist 技术主要用来识别需要特别注意的和/或需要进一步审议的主要问题;其主要局限是对于特定问题不能提供挖掘问题的机制。研究证明在使用 Checklist 进行预先的危险识别的前提下,HAZOP 分析可以成功识别热泵设计中的更多类型的危险。

2.2.3 对人为因素进行识别

实际生产中,50%~90%的操作风险是由人为的因素引起的^[13],因此对于人为因素的识别具有非常重要的意义。Schurman 和 Fleger^[14] 通过引入一套新的引导词(错过、时间不当)和参数(人、信息、行为),将对人为因素可能引起的危险的分析整合到 HAZOP 分析中。

间歇过程广泛应用于精细化工、生物化工等

高附加值产品的生产中,且间歇生产过程中人的参与比连续生产中更为频繁,因此对于间歇过程中的人的因素进行 HAZOP 分析颇有意义。Mushtaq 和 Chung^[15]提出了将间歇过程分解为3个操作阶段(加料、卸料和反应)的研究方法:加料和卸料被视为连续过程,而将反应分解为不同的操作,例如混合、加热等。

2.3 开发自动化 HAZOP 分析专家系统

由于人工 HAZOP 分析耗时耗力且成本较高,迫切需要自动化的 HAZOP 解决这些问题。自动化的 HAZOP 分析专家系统可以提高分析的效率、降低分析的入门难度、减少或排除人为错误及减少分析成本,而且其结果可以方便地用于新操作员的培训指导及协助操作员识别非正常工况,所以对于自动化 HAZOP 分析专家系统的研究毫无疑问地成为有关 HAZOP 的研究中最为广泛的研究。

自从1987年 Parmar 和 Lees^[16]最先开始自动化 HAZOP 分析的研究以来,大量专家学者进行了这方面的研究,提出了大量的方法。总结起来,可以划分为两大类:基于模型的仿真方法和基于知识的经验方法。

2.3.1 基于模型的专家系统

Catino 和 Ungar^[17]在1995年开发了基于模型的 HAZOP 分析系统:定性危险识别 QHI(Qualitative Hazard Identification)。该系统采用由定量方程外推得到的定性方程描述装置行为,采用穷举法遍历可能的故障,可以自动构建过程的定性模型,然后通过仿真检查危险。该系统对于某些故障,仿真和危险识别可以在数秒内完成,但是对于有些案例需要数天甚至不能识别。

2.3.2 基于知识的专家系统

基于知识的经验方法根据知识程度的深浅又分为:基于历史数据的经验方法(即浅层知识专家系统)和基于深层知识的专家系统。

(1)基于历史数据的浅层知识专家系统通常由知识库、推理机和图形用户界面组成,其中知识库中保存着基于规则的经验信息表达式。比较典型的 HAZOP 浅层知识专家系统是由 OptHAZOP 和 TOP-HAZOP 发展而成的 EXPERTOP^[18],该系统在2000年由 Khan 和 Abbasi 提出,该知识库由2个主要部分组成:过程特有知识和常规知识。过程特有知识库包括2个主要部分:以过程单元属性为基础构造的框架性结构和由操作单元的原因及后果构造的与框架关联的规则网络;常规的知识库包括常规

原因及其后果。

高质量的知识库必须由大量的实践应用来扩展并不断的修正,要达到 HAZOP 分析要求的完备性非常困难,而且知识库易面临信息爆炸问题,因此基于历史数据浅层知识的 HAZOP 专家系统只能针对某一特定的装置,才能得到相对完备的分析结果。

(2)由于浅层知识专家系统的局限性,近年来大量专家学者进行了深层知识专家系统的开发,其中最主要是基于符号有向图(Signed Directed Graph,SDG)的 HAZOP 专家系统。从20世纪90年代初美国普渡大学以 Venkatasubramanian 为首的研究群体就一直致力于 HAZOP 专家系统的开发^[19],对基于 SDG 方法的完善和工业应用做出了重要的贡献。Venkatasubramanian 充分注意到 SDG 分辨率不高但是完备性好的优点,将 SDG 方法应用到化工过程的 HAZOP 中。该科研群体经过多年的研究,开发了基于模型的智能化安全评价软件系统 HAZOPEXpert^[20],该系统不仅适合于连续过程,而且加入皮特里网络而同样适合于对间歇过程的分析^[21]。

该方法的优点是只要构建合理的 SDG 模型,就可以尽可能完备地揭示过程系统中潜在的危险以及危险传播的途径;但该方法对于模型的要求非常高,因此只能针对典型的、已经建立完善分析模型的设备进行分析。

2.4 动态模拟辅助的 HAZOP 分析

动态模拟可以用于分析化工过程的动态变化,被广泛应用于动态特性研究、开停车指导、动态仿真和设计先进控制系统。Svandova 等^[22]在2005年提出了由系统模拟辅助进行 HAZOP 分析。Shacham 等^[23]使用由 Ploymath 构建的动态数学模型进行了 HAZOP 分析的研究,并将结果应用到了安全教育及培训中。Markos 等^[24]自行开发了由过程模拟器和 HAZOP 推理机组成的 DYNHAZ 软件,并用其分析结果应用为传统 HAZOP 分析的基础。Ramzan 等^[25]开发了由动态模拟辅助的 HAZOP 分析的系统化方法,并应用到一个精馏塔的安全分析中^[26]。

3 总结及前景展望

本文概述了自 HAZOP 产生以来的相关研究并进行了分类,发现自动化 HAZOP 的专家系统是研究最为广泛的领域,但是就目前的应用情况看,自动化的专家系统还有待进一步的研究。另外,国际标准对于安全分析的要求已经从定性转向半定量甚至

定量,因此定量化的 HAZOP 分析方法的研究将是未来发展的必然趋势。近年来出现的将动态模拟与 HAZOP 分析的方法体现了空前的优越性:动态模拟采用严格的化工过程机理模型,可以较为真实地反映化工过程危险传播的内部特征;不仅可以作为专家系统的推理核心还可以作为定量化的依据。因此,基于动态模拟的 HAZOP 分析方法的研究尤其是基于动态模拟的 HAZOP 专家系统的开发成为最具发展潜力的研究方向。

参考文献

- [1] 李彤,杨静,张贝克,等. 计算机辅助危险与可操作性分析及应用软件的发展[J]. 石油化工安全技术,2006,22(6):51-54.
- [2] Suokas J. The role of safety analysis in accident prevention[J]. Accident Analysis and Prevention,1988,20(1):67-85.
- [3] Suokas J V Rouhiainen. Quality control in safety and risk analysis [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,1989,2(2):67-77.
- [4] Hoepffner L. Analysis of the HAZOP study and comparison with similar safety analysis systems[J]. Gas Separation and Purification, 1989,3(3):148-151.
- [5] Post R L. HAZROP: An approach to combining HAZOP and RCM [J]. Hydrocarbon Processing,2001,80(5):69-76.
- [6] Trammell S R, Davis B J. Using a modified Hazop/FMEA methodology for assessing system risk[C]. Proceedings of the 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology. 2001:IEEE Computer Society.
- [7] Trammell S, Lorenzo D, Davis B. Integrated Hazards Analysis: Using the strengths of multiple methods to maximize effectiveness[C]// ASSE Professional Development Conference and Exposition, Denver, Colorado,2003.
- [8] Burgazzi L. Evaluation of uncertainties related to passive systems performance[J]. Nuclear Engineering and Design,2004,230(1/2/3):93-106.
- [9] Bendixen L M, O'Neill J K. Chemical plant risk assessment using HAZOP and Fault Tree Methods[J]. Plant/Operations Progress, 1984,3(3):179-184.
- [10] Ozog H, Bendixen L M. Hazard identification and quantification [J]. Chemical Engineering Progress,1987,83(4):55-64.
- [11] Demichela M, Marmo L, Piccinini N. Recursive operability analysis of a complex plant with multiple protection devices[J]. Reliability Engineering and System Safety,2002,77(3):301-308.
- [12] Shafaghi A, Cook F B. Application of a hazard & operability study to hazard evaluation of an absorption heat pump[J]. IEEE Transactions on Reliability,1988,37(2):159-166.
- [13] Baybutt P. Layers of protection analysis for human factors (LOPA-HF) [J]. Process Safety Progress,2002,21(2):119-129.
- [14] Schurman D L, Flegler S A. Human factors in HAZOPs: Guide words and parameters[J]. Professional Safety,1994,39(12):32-34.
- [15] Mushtaq F, Chung P W H. A systematic Hazop procedure for batch processes, and its application to pipeless plants[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2000,13(1):41-48.
- [16] Parmar J C, Lees F P. The propagation of faults in process plants: Hazard identification [J]. Reliability Engineering,1987,17(4):277-302.
- [17] Catino C A, Ungar L H. Model-based approach to automated hazard identification of chemical plants[J]. AIChE Journal,1995,41(1):97-109.
- [18] Khan F I, Abbasi S A. Towards automation of HAZOP with a new tool EXPERTOP[J]. Environmental Modelling and Software,2000,15(1):67-77.
- [19] 舒小芹,王保国,张成中. 危险与可操作性研究在清洁生产中的应用[J]. 现代化工,2001,21(2):46-50.
- [20] Vaidhyanathan R, Venkatasubramanian V. A semi-quantitative reasoning methodology for filtering and ranking HAZOP results in HAZOPEXPERT [M]. Oxford, ROYAUME-UNI: Elsevier, 1996.
- [21] Viswanathan S, Shah N, Venkatasubramanian V. Hybrid framework for hazard identification and assessment in batch processes [J]. AIChE Journal,2002,48(8):1765-1774.
- [22] Švandová Z, Jelemensky L, Markoš J, et al. Steady states analysis and dynamic simulation as a complement in the HAZOP study of chemical reactors [J]. Process Safety and Environmental Protection,2005,83(5 B):463-471.
- [23] Eizenberg S, Shacham M, Brauner N. Combining HAZOP with dynamic simulation-Applications for safety education [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2006,19(6):754-761.
- [24] Labovsky J, Švandová Z, Markoš J, et al. Mathematical model of a chemical reactor-useful tool for its safety analysis and design [J]. Chemical Engineering Science, 2007, 62 (18/19/20):4915-4919.
- [25] Ramzan N, Compart F, Witt W. Methodology for the generation and evaluation of safety system alternatives based on extended hazop [J]. Process Safety Progress,2007,26(1):35-42.
- [26] Ramzan N, Compart F, Witt W. Application of extended Hazop and event-tree analysis for investigating operational failures and safety optimization of distillation column unit [J]. Process Safety Progress,2007,26(3):248-257. ■

《现代化工》入选中国科学引文数据库核心期刊

《现代化工》创刊于1980年,为中国化工信息中心主办的综合性化工技术类期刊。经过近30年的发展,《现代化工》已经在化工领域有了很大的影响,一直入编《中文核心期刊要目总览》。2009年,《现代化工》入编《2009—2010年中国科学引文数据库核心期刊》。目前,《现代化工》既是中文核心期刊也是科学引文数据库核心期刊。读者和相关单位可登陆中科院中国科学文献服务系统(<http://sdb.csdl.ac.cn/>),点左下角“中国科学数据库来源期刊”查证。

——《现代化工》编辑部