

# HAZOP 技术的研究与应用

姜春明 赵文芳 姜巍巍 卢卫

(中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院, 山东 青岛 266071)

**摘要:**危险与可操作性分析(HAZOP)方法是工艺过程危险辨识的重要技术。在国外,HAZOP 是装置危险辨识的通用技术,已经得到了广泛的应用和推广。近几年来 HAZOP 技术也逐渐在国内得到认识和应用。介绍了 HAZOP 分析技术,及在 HAZOP 技术应用方面做的工作和取得的成果。HAZOP 技术是最适于装置工艺过程危险性分析的技术,值得在国内加以推广应用。

**关键词:**HAZOP 技术;工艺过程;危险辨识;应用

中图分类号:X924.4

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)S2-0137-03

## Research and application of HAZOP technology

JIANG Chun-ming, ZHAO Wen-fang, JIANG Wei-wei, LU Wei

(Qingdao Research Institute of Safety Engineering, China Petroleum & Chemical Corporation,  
Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Hazard and operability (HAZOP) is an important technology in hazard identification. In developed countries, HAZOP is the popular technique in the hazard assessment of installation process, and have been widely used for several decade years. In recent years people are also cognizant of its importance in our country. The content of HAZOP and its characteristics are described. All the work done in this field and the effect are also introduced. In fact, HAZOP is the most applicable and powerful process hazard analysis technology, it is valuable for the widely use in the process hazard identification.

**Key words:** HAZOP technology; installation process; hazard identification; application

现代工业生产在为社会带来巨大利益的同时,也带来了火灾、爆炸、毒物泄漏等重大事故隐患,因此,最大可能地消除事故根源、控制事故的发生无疑是安全生产的重中之重。为了预防事故的发生、降低事故危险,必须先对工作场所进行危险辨识,以确定工作场所有无危险或有哪些危险、条件能够引起紧急事故。危险与可操作性(HAZard and OPerability, HAZOP)分析技术是按照科学的程序和方法,系统地对装置的工艺过程进行危险辨识和分析的优秀方法,也是许多发达国家推荐的危险辨识方法。

## 1 技术简介

HAZOP 分析技术是英国帝国化学工业公司(Imperial Chemical Industries Ltd.)于 1974 年建立的,主要目标是对化工装置的工艺过程进行危险与可操作性分析。历经几十年实践应用和发展完善,HAZOP 技术以其系统、科学的突出优势,在装置工艺危险辨识领域独占鳌头,在发达国家得以广泛应用,并备受推崇。

现代科学技术的迅猛发展几乎不存在某一个人能独自解决一个系统或过程的所有问题的现象,在

装置的设计、操作、维修等过程中,需要工艺、工程、仪表、土建、给排水等各专业的人员一起工作,对工艺过程的危险性分析也不例外。危险性分析实际上是一个系统工程,需要各专业人员的共同参与。HAZOP 分析方法正是基于这样一个基本概念,即各个专业、具有不同知识背景的人员所组成的分析组一起工作,比他们单独工作更具有创造性和系统性,能识别更多的问题。

HAZOP 分析是一种用于辨识设计缺陷、工艺过程危险及操作性问题的结构化分析方法,该方法的本质就是通过系列的会议对工艺图纸和操作规程进行分析。在这个过程中,由各专业人员组成的分析组按规定的方式系统地研究每一个单元(即分析节点),分析偏离设计工艺条件的偏差所导致的危险和可操作性问题。HAZOP 分析组通过分析每个工艺单元或操作步骤,识别出那些具有潜在危险的偏差,这些偏差通过引导词引出,使用引导词的一个目的就是为了保证对所有工艺参数的偏差都进行分析。分析组对每个有意义的偏差都进行分析,并分析它们的可能原因和后果。HAZOP 分析方法明显不同于其他分析方法,其他分析方法可由一个人单独完

成,而 HAZOP 分析必须由不同专业人员组成的分析组来完成。HAZOP 分析的这种群体方式的主要优点在于能相互促进、开拓思路。

### 1.1 分析方法

基于引导词的 HAZOP 方法即是对于每一“分析节点”,通过引导词引导分析节点的工艺参数形成有意义的偏差,分析其产生原因、可能导致的危险后果、已有的安全保护措施及应该采取的安全措施等。

#### (1) 常用引导词及其意义

HAZOP 常用的引导词及意义见表 1。

表 1 常用引导词及其意义

引导词	含义	说明
No(空白)	对设计意图的否定	设计或操作要求指标或事件完全不发生
Less(减量)	数量减少	同标准值比较,数值偏小
More(过量)	数量增加	同标准值比较,数值偏大
Part of(部分)	质的减少	只完成既定功能的一部分
As Well As(伴随)	质的增加	在完成既定功能的同时伴随多余事件发生
Reverse(相逆)	设计意图的逻辑反面	出现和设计完全相反的事或物
Other Than(异常)	完全代替	出现和设计不相同的事或物

#### (2) 常用工艺参数

HAZOP 常用的工艺参数有流量、温度、时间、pH 值、频率、电压、混合、分离、压力、液位、组成、速度、黏度、信号、添加剂及反应等。

#### (3) 偏差的构成

偏差为引导词与工艺参数的组合,一般表示如下:

$$\text{引导词} + \text{工艺参数} = \text{偏差}$$

用引导词描述要分析的问题可确保 HAZOP 方法的统一性,同时能够将要分析的问题系统化,应用一套完整的引导词,可以导出所有可能的偏差,而不致被遗漏。

(4) HAZOP 分析是对偏差的原因、后果、已有安全保护等项目进行分析,同时提出应该采取的措施

和行动。分析的内容会依据分析目的不同而有所侧重。

### 1.2 分析步骤

#### (1) 分析准备

a. 确定分析的目的、对象和范围;b. 组建分析小组;c. 获得必要的资料;d. 根据资料拟定适当的表格和分析顺序;e. 安排会议次数和时间。

#### (2) 完成分析

a. 划分节点(或称单元分区);b. 解释工艺指标或操作步骤;c. 确定有意义的偏差;d. 对偏差进行分析。

#### (3) 编制分析结果文件

分析记录是 HAZOP 分析的一个重要组成部分,会议记录人员将分析讨论过程中所有重要的内容精确地记录在事先设计好的工作表内。

在上述工作的基础上,将会议记录结果进行整理、汇总、提炼出恰当的结果,形成 HAZOP 分析报告文件。

## 2 技术性能和特征

HAZOP 方法自建立以来,在实际应用中不断得以发展和完善,已成为功能完善、系统性强的危险辨识方法,且许多公司在工艺过程 HAZOP 分析的基础上,对其进行了扩展和延伸,以满足多种不同需求,但工艺过程 HAZOP 分析依然是应用最广泛、最为成熟的技术之一。

### 2.1 HAZOP 分析技术的主要类型

- (1) 工艺过程 HAZOP(process HAZOP)分析
- (2) 人的可靠性 HAZOP(human HAZOP)分析
- (3) 操作程序 HAZOP(procedure HAZOP)分析
- (4) 软件 HAZOP(software HAZOP)分析

### 2.2 工艺过程 HAZOP 分析技术的应用领域

(1) HAZOP 分析技术适用于以下不同的工艺过程:连续工艺过程和间歇工艺过程。

(2) HAZOP 分析技术可以用于装置生命周期的各个阶段:工艺设计,在役装置,装置改造、扩展。

(上接第 136 页)

[2] Morinaga K, Izumi Y, Arai H, et al. Development of the new catalyst HOP-463 for deep desulfurization of diesel fuels [A]. In: Iwamoto M, Imagishi T, Fujieda S. Study of Surface Science and Catalysis: Science and Technology in Catalysis, 1994, Vol 92 [C]. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1990. 425.

[3] Mudt D R, Pedersen C C, Robinson P R, et al. [J]. Petroleum Technology Quarterly, 2001, (1): 85 - 87, 89 - 91.

[4] English K, Dunbar M. Using steady state models to generate LP model inputs [A]. In: Proc of 1997 NPRA Computer Conference [C]. Washington, DC: National Petrochemical & Refiners Association, 1997. CC - 97 - 131.

[5] Hu M C, Powell R T, Kidd N F. [J]. Hydrocarbon Processing, 1997, 76 (6): 81 - 86.

[6] Tucker M. LP modeling: past, present and future [A]. In: Proc of 2001 NPRA Computer Conference [C]. Washington, DC: National Petrochemical & Refiners Association, 2001. CC - 01 - 153. ■

### 2.3 HAZOP 分析技术的作用

(1)对装置设计方案进行详细审查,便于及时修正;

(2)对在役装置工艺过程进行全面系统的安全检查,识别存在的危险与操作过程中可能出现的问题;

(3)为制定操作指导提供参考资料;

(4)为制定应急预案提供依据等。

## 3 技术研究与应用

由于 HAZOP 技术的复杂、难以操作、耗费人力物力大等缺点,使国内 HAZOP 技术基本还处于研究、尝试应用阶段。为了推进 HAZOP 技术在企业的普遍应用,我们做了大量探索性工作,研究 HAZOP 技术的实用技巧,借鉴、采纳国外 HAZOP 技术应用的经验和信息积累,开发了 HAZOP 应用软件系统,并开展了大量实际应用工作。

### 3.1 应用软件系统开发

2001~2002年,青岛安全工程研究院开发了国内第一套 HAZOP 软件系统。该软件系统集合了该院多年进行 HAZOP 研究、分析工作的经验、信息,借鉴了国外软件的优势,提高了 HAZOP 技术的实用价值。

HAZOP 软件系统的开发紧紧抓住了该方法精髓和内涵,凭借我们从事 HAZOP 技术研究、应用工作的经验,对软件评价程序进行了科学、合理的设计。软件评价程序内容分为以下 11 部分:

(1)软件评价程序内容

①HAZOP 分析概况;②会议成员;③分析节点;④会议情况;⑤会议参加人;⑥HAZOP 分析字段;⑦行动分析字段;⑧偏差;⑨风险等级;⑩HAZOP 分析;⑪行动分析。

(2)提供了实用丰富的资料数据库

为了提高软件性能,强化软件实用性和可操作性,软件系统中提供了大量的支持数据库,所提供的支持库包括:

①分析节点库。节点库包括近 20 种按设备类型划分的分析节点。

②各分析节点偏差库。汇集了每一个分析节点的常规偏差。

③偏差分析库。包括偏差的原因、后果、安全措施等内容;其中对常见类型的分析节点,如反应器、换热器、管线、塔、容器、熔炉、泵、压缩机等的重要偏差给出了详尽的分析,包括导致偏差的原因、本质、安全解决方案、控制措施、操作程序等方面。

④常见十大类设备故障类型分析资料库。包括了最常用的十大类设备:反应器、干燥器、固体处理和加工设备、固-液分离器、管道及管道组件、换热设备、流体传输设备、燃烧设备、容器、物质转换设备的常见故障类型分析。分析内容包括各设备常见偏差、故障原因、解决方案(包括提高设备本身的安全等级、增加安全设施、程序控制 3 个方面)等 HAZOP 分析的基本内容。

### 3.2 技术应用

在对 HAZOP 技术进行研究、开发其软件系统的同时,应用 HAZOP 技术对多套装置进行了危险性分析,掌握了 HAZOP 技术应用技巧,取得了良好效果。首先表现在 HAZOP 技术的应用上,全面认识了这些装置工艺过程中存在的危险、事故发生的原因、事故可导致的重大危险等,并在此基础上制定了装置安全操作方案、事故预防方案及重大事故应急响应方案等。为预防事故发生,确保装置的安全运行提供了可靠的技术方案;同时 HAZOP 分析过程也是装置技术人员以系统的方法对装置危险、隐患、现状进行全面认识、思考的过程。因此,HAZOP 技术的实施增强了装置技术人员的危险意识和认识,提高了人的可靠性。HAZOP 技术在这些企业的应用得到了厂家的一致认同,实现了预期目标。分析结果如下:

(1)乙二醇、丙烯腈、加氢裂化等装置的 HAZOP 分析。乙二醇、丙烯腈、加氢裂化装置都是石化生产中的高危险性装置。为了确保这些装置的安全运行,我们于 2002~2003 年对这些装置的安全技术进行专项课题研究。其中包括应用 HAZOP 分析技术对装置进行了系统的工艺危险分析,明确工艺过程中存在的危险、促成事故的条件、事故的严重等,为下一步确定装置安全方案提供了可靠的依据。

(2)2003 年 7~10 月,受上海科宁公司(德国 Henkel 公司独资企业)委托,我们对其公司的环氧乙烷罐区、环氧丙烷罐区及 3 个车间的生产装置进行了 HAZOP 风险分析;此次 HAZOP 分析为了深入掌握可能事故的严重程度,在传统 HAZOP 分析的基础上,对重要事故进行了风险分析。

在对上海科宁公司罐区和生产装置的 HAZOP 分析中,共分析出现有安全措施下存在的危险状态 38 处,并对这些危险状态的改进提出了建议措施。该公司在限期内采取了适当行动,将事故发生的风险降低到可以接受的范围内。这些工作的开展提高了该公司的整体安全水平,保障了该公司的安全生产。  
(下转第 146 页)

文采用随机检验(random validation)考察方程的可靠性。随机检验通过考察培训集中各样本是否相互独立来确定训练集是否具有代表性,进而确定所建方程是否可靠。它将因变量的值在训练集各样本间随机地交换,重新建立方程。若重建的方程与原方程具有相近的预测能力,说明训练集样本过于集中,没有广泛的代表性,不足以生成可靠的预测方程。由训练集中各样本的结构式可以看出,茂金属催化剂结构的变化涉及到了中心金属原子、桥原子、配体杂原子、配体取代基、桥原子上的取代基等各个方面的结构变化;由各个茂金属催化剂的活性和所得聚丙烯的分子质量可以看出,活性和分子质量的变化范围较宽,说明所构建的训练集具有广泛的代表性。随机检验表明活性和分子质量 QSPR 方程的置信度分别为 95% 和 93%,表明所采用的训练集和构建的方程是可靠的。

对于所构建 QSPR 方程的预测能力,本文利用外检验的方法,对文献[1-2]报道的 2 种茂金属催化剂的聚合性能进行了预测。外检验所用茂金属催化剂的结构及方程预测值见表 2。

由表 2 所列外检验预测结果可以看出,所构建 QSPR 方程对茂金属催化剂的活性和分子质量的预测误差均低于 15%,表明方程具有较强的预测能力。

(上接第 139 页)

(3)2003 年 11 月~2004 年 3 月,受山东泰山染料股份有限公司委托,我们对其公司加氢车间的制氢装置和 3,3-二氯联苯胺盐酸盐(DCB)生产装置进行了 HAZOP 分析,辨识出装置工艺过程存在的危险因素及事故隐患,并提出了系统性的整改方案。

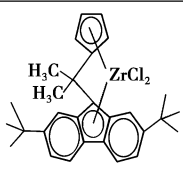
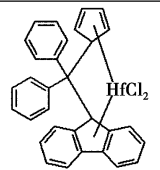
#### 4 结论

(1)HAZOP 技术是最适于装置工艺过程危险性分析的技术,也是惟一能够对装置设计方案进行系统审查、分析的方法,它可以识别出设计中潜在的缺陷和失误,以便及时修改;

(2)HAZOP 分析组是由各个专业、不同知识背景(如装置设计、操作、工艺、安全、控制等方面)的专家组成,因此,HAZOP 分析集合了众人的智慧,更具有创造性与系统性,能识别更多的问题。其分析的全面、深入是其他方法无法相比的。

(3)HAZOP 分析是装置人员提高业务素质的技术手段。现代生产工艺的复杂性几乎不可能使某一个人成为装置全部问题的专家,在装置的设计、操

表 2 方程的预测值

催化剂	10	11
结构		
A 预测值/kg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>	83.5	13.4
A 文献值/kg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>	79	11.7
A 相对误差/%	-5.39	-12.69
M <sub>w</sub> 预测值/10 <sup>3</sup>	38	1716
M <sub>w</sub> 文献值/10 <sup>3</sup>	34	1950
M <sub>w</sub> 相对误差/%	-10.53	13.64

#### 5 结论

本研究构建了具有较好预测能力的茂金属催化剂结构-聚合性能的 QSPR 方程。QSPR 方程显示的影响茂金属催化剂聚合性能的结构参数与本研究发现的规律是一致的。文献数据表明,所构建 QSPR 方程可靠,具有较强的预测力能。

#### 参考文献

- [1] Tetsunosuke S. [J]. Macromol Symp, 1996, 101:289.
- [2] Abbas R. [J]. J Organomet Chem, 1993, 459:117.
- [3] Konstantinos M. [J]. J Organomet Chem, 1996, 509:63.
- [4] Ewen A J. [J]. J Am Chem Soc, 1998, 120:10786.
- [5] Ewen A J. [J]. Makromol Chem Macromol Symp, 1991, 49:253.
- [6] Rogers D A. [J]. J Chem Info Compu Sci, 1994, 134:4. ■

作、安全控制、工艺改进、维修等过程中,大家需要各方面知识的相互渗透,HAZOP 分析过程是装置人员相互学习、相互提高的最好机会。

(4)软件系统辅助 HAZOP 技术的推广应用是一种客观需求。HAZOP 方法的科学性、系统性决定了其分析的完善、深入,但也呈现了其随之而来的缺点,即操作烦琐,费时费力。因此,软件系统的推广应用是一种必然。

(5)HAZOP 技术在企业的推广应用是全球一体化发展的必然结果,也是企业深化装置危险性认识、加强安全操作、提高安全水平的重要途径。

#### 参考文献

- [1] 廖学品. 化工过程危险性分析[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
- [2] Kletz T. Hazard and Hazan: Identifying and Assessing Process Industry Hazards [M]. 2nd ed. Rugby: Institution of Chemical Engineers (ICHEME), 1992.
- [3] Wells G. Hazard Identification and Risk Assessment[M]. Rugby: Institution of Chemical Engineers (ICHEME), 1996.
- [4] Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Design Solutions for Process Equipment Failures[M]. New York: Amer Inst of Chemical Engineers, 1998. ■