

天然气净化厂 HAZOP 分析指南

中国石油天然气集团公司安全环保与节能部 编





责任编辑：吴 莺
责任校对：廉存芳
封面设计：丁 爽

ISBN 978-7-5021-9720-9

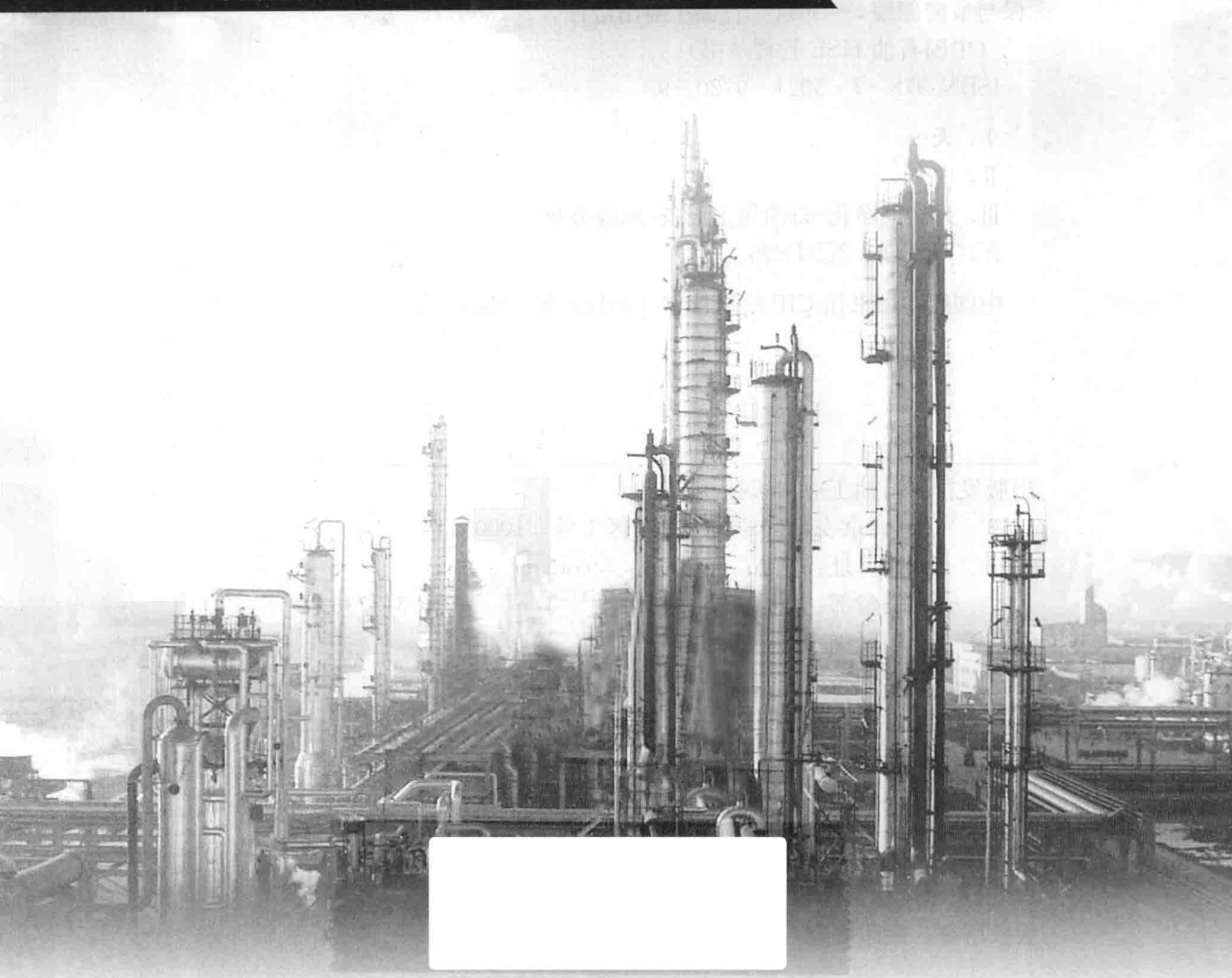


9 787502 197209 >

定价：30.00 元

天然气净化厂 HAZOP 分析指南

中国石油天然气集团公司安全环保与节能部 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对天然气净化厂主要风险,讲述了 HAZOP 分析的应用,主要包括 HAZOP 分析方法、实施过程、主持人技巧及天然气净化厂各工艺单元 HAZOP 分析重点,并提供了新建及在役典型天然气净化厂 HAZOP 分析案例。本书内容丰富,实用性强,可作为石油天然气行业 HSE 管理人员、相关技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气净化厂 HAZOP 分析指南/中国石油天然气集团公司安全环保与节能部编. —北京:石油工业出版社, 2013. 9

(中国石油 HSE 管理丛书)

ISBN 978-7-5021-9720-9

I. 天…

II. 中…

III. 天然气净化-石油化工设备-风险分析

IV. ①TE665.3②TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 185376 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部: (010) 64255590 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 9.25

字数: 232 千字

定价: 30.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

目 录

第一章 HAZOP 分析概述	1
第一节 HAZOP 分析的产生与发展	1
第二节 HAZOP 分析的作用及使用	4
第三节 HAZOP 分析在中国石油的应用	6
第二章 HAZOP 分析方法	8
第一节 HAZOP 分析的特征及常用术语	8
第二节 HAZOP 分析方法要点	9
第三章 HAZOP 分析实施过程	27
第一节 HAZOP 分析准备	27
第二节 HAZOP 分析程序	30
第三节 HAZOP 分析主持人技巧	36
第四章 天然气净化厂主要风险	42
第一节 天然气净化工艺简述	42
第二节 工艺过程主要有害物质和危害	42
第三节 天然气净化厂特殊危险工况	50
第五章 天然气净化厂主要工艺单元 HAZOP 分析重点	55
第一节 脱硫脱碳工艺	55
第二节 脱水工艺	58
第三节 轻烃回收工艺	59
第四节 硫黄回收工艺	61
第五节 辅助生产设施及公用工程	64
第六章 HAZOP 分析在天然气净化厂的应用	68
第一节 新建××油气处理厂初步设计 HAZOP 分析	68
第二节 ××天然气净化厂在役阶段 HAZOP 分析	84
参考文献	105
附录 1 HAZOP 分析软件介绍	106
附录 2 中国石油天然气股份有限公司危险与可操作性分析工作管理规定	118
附录 3 危险与可操作性分析技术指南 (Q/SY 1364—2011)	121

第一章 HAZOP 分析概述

第一节 HAZOP 分析的产生与发展

一、HAZOP 分析的产生

20 世纪 60 年代,随着流程工业逐步大型化、复杂化,以及越来越多的有毒和易燃易爆化学品的使用,使得事故的规模变得越来越难以承受。先前人们那种从事故中汲取经验教训的方法已难以满足对安全生产的需求。随着历史上一些重大事故的发生,一个基本问题摆在了人们面前:如何预知将要发生什么,对工艺流程是否正确理解,如何使流程设计易于管理。人们急需一种系统化、结构化的分析方法,以能够在设计阶段便对将来潜在的危险有一个预先的认知,同时也需要设计上能够更多地容忍操作人员不正当的操作情况出现。

英国帝国化学工业有限公司(ICI)开发了危险与可操作性分析(HAZOP)技术,HAZOP 分析是一种系统化和结构化的定性风险评价手段,主要用于设计阶段确定工程设计中存在的危险及操作问题。HAZOP 分析是一种使用引导词(guide words)为中心的分析方法,以审查设计的安全性以及危害的因果关系。此方法在化学工业过程中得到广泛应用始于英格兰 Flixborough 灾难,这是发生在 1974 年 6 月 1 日下午的一起爆炸事故,一套环己烷氧化装置发生泄漏,泄漏物料形成的蒸气云发生爆炸,导致工厂内 28 人死亡、36 人受伤,周围社区也有数百人受伤。爆炸摧毁了工厂的控制室及临近的工艺设施。事后调查表明,这起灾难性的事故是由于工艺系统的临时变更所引起的。由于工厂缺乏管理工艺系统变更的制度,没有对发生变更的工艺系统进行适当的审查,也没有人监督和批准相关的变更。变更管理制度的缺失,使得未经审查的变更顺利地通过设计、安装和投产。参与变更任务的人员缺乏培训和足够的经验,他们没有认识到这种对工艺系统的改变可能造成的严重后果。

本次事故曾引起广泛的社会关注,也间接催生了欧洲的工艺安全法规,即 Seveso 指令。著名的工艺安全专家 Trevor Kletz 对应该吸取的教训进行过较全面的总结:

(1) 爆炸事故表明,工厂需要建立一套管理系统来控制工艺设施的变更,包括临时变更。

(2) 对工艺设施进行变更前,需要由有经验的人进行系统的危害分析,确认变更是否符合原来的设计标准、是否会产生不良的后果。

(3) 尽量减少物料在工艺系统中的存量。在本次事故的装置中,包含有 400t 环己烷,事故发生时,泄漏了约 40t。根据本质安全的策略,预防着火、爆炸和有毒物泄漏事故的最好办法是减少这些危险物料的储存量或它们在工艺系统中的滞留量。

(4) 在本次事故中,工厂的控制室被摧毁,导致大量人员伤亡,因此在工厂布置和控制室设计时,需要充分考虑如何在事故发生时保护操作人员,以减少伤亡。

(5) 公司需要聘用有经验的工程师,并且建立适当的机制发挥他们的专长,为事故预防提供充分的技术支持。

在上述背景下,英国帝国化学工业有限公司于1974年正式发布了HAZOP分析技术。其后通过英国帝国化学工业有限公司和英国化学工业协会(CIA)的大力推广,此分析方法逐渐由欧洲传播至北美、日本及沙特阿拉伯等国家。很多国际大型公司和机构都根据自身企业特点制定了相应程序,英美等国还将HAZOP分析列为强制性国家标准,强制相关企业遵守。

二、HAZOP 分析的发展

目前,HAZOP分析已成为HSE管理体系推进工作中运用的重要方法,也是工艺安全管理的重要手段。对于企业来说,遵照国际标准采用科学严谨的方法对正在设计、施工和在役的生产装置进行安全评价,已经成为安全管理的一项日常工作。

自从英国帝国化学工业有限公司发布HAZOP分析技术以来,HAZOP分析已经得到越来越广泛的应用。在世界范围内,HAZOP分析已经被石油化工公司和工程建设公司视为确保设计和运行完整性的标准设计惯例。很多国家要求将石油化学工业的HAZOP分析作为防止重大事故计划的重要部分。

英国石化有限公司制定的《健康、安全和环境标准与程序》明确规定,在设计阶段必须进行设计方案的HAZOP分析。德国拜耳公司1997年制定《过程与工厂安全指导》,要求其所属工厂必须进行HAZOP分析并形成安全评估报告。美国职业安全与健康管理局(OSHA)为规范高度危险化学品的安全管理,于1992年编制了《高度危险化学品的过程安全管理》(1992—29CFR1910.119),提出了过程安全管理的观念,该法规中建议采用HAZOP分析对石油化工装置进行危险评估。美国职业安全与健康管理局对HAZOP分析的要求:必须对人员进行HAZOP培训,HAZOP分析小组必须有了解工艺和HAZOP分析方法的人员参加,HAZOP分析结果必须由业主发布,HAZOP分析记录必须在装置的生命周期内一直保存;每5年要重新进行一次HAZOP审查。自从《高度危险化学品的过程安全管理》颁布以来,美国大型石化企业已经对在役装置进行了2~3轮的HAZOP分析研究。

2001年,国际电工委员会(IEC)制订了首部HAZOP分析应用标准IEC 61882—2001《危险与可操作性研究(HAZOP研究)应用指南》。该标准得到国际上的广泛认可,并在石油、石化及化工等存在重大危险源的流程工业中广泛应用。

在我国,随着国民经济的高速发展,安全理念的深入人心,HAZOP分析伴随着安全评价的普及正逐步得到推广。国家安全生产监督管理总局《危险化学品建设项目安全评价细则(试行)》(安监总危化〔2007〕255号)中明确要求:对国内首次采用新技术、工艺的建设项项目,除选择其他安全评价方法外,尽可能选择危险与可操作性研究法进行。《国务院安全生产委员会办公室关于进一步加强危险化学品安全生产工作的指导意见》(安委办〔2008〕26号)要求:组织有条件的中央企业应用危险与可操作性分析技术(HAZOP),提高化工生产装置潜在风险的识别能力。

2011年,在对国外工艺安全管理系统进行消化吸收的基础上,我国发布了AQ/T 3034—2010《化工企业工艺安全管理实施导则》,将工艺危害分析列为工艺安全管理的一项关键要素,成为企业过程安全管理体系中必不可少的重要环节。由国家安全生产监督管理总局组织编写,等同采用IEC 61882—2001行业标准的《危险与可操作性应用分析(HAZOP

分析)应用导则》正在报批中。HAZOP 分析在国内的大范围推广和应用已经势在必行。

三、HAZOP 分析的必要性

当代科学技术进步的一个显著特征是设备、工艺和产品越来越复杂。某些大型石化装置仅控制回路就达到数百路,过程变量达到上万个。生产规模的大型化、元部件关系的复杂化,也使得事故发生几率和危害程度大大增加。目前生产安全已成为重大社会问题,有效进行工艺安全管理(PSM)十分必要。

现代石油化工行业由于其高风险特点,发生火灾、爆炸和有毒物质泄漏事故的风险很大。现代石油化工工艺装置的实际运行经验及国内外石油化工行业多起灾难性事故证明,传统设计技术中的安全措施往往是不够的。

1984年12月4日,美国联合碳化物公司印度有限公司发生震惊世界的异氰酸甲酯毒气泄漏事故,造成至少2000人死亡,20万人受伤。这次事故,是由于储槽中含有水和三氯甲烷,它们发生剧烈反应而引起的,其原因可归结为操作失误、设计欠缺、维修不当及忽视培训等。

2005年3月23日,英国石油公司(BP)美国得克萨斯州炼油厂的异构化装置发生火灾和一系列爆炸事故,15名工人被当场炸死,170余人受伤,在周围工作和居住的许多人成为爆炸产生的浓烟的受害者。同时,这起事故还导致了严重的经济损失,这是过去20年间美国作业场所最严重的灾难之一。事后调查表明,该爆炸着火事故的直接原因是操作工在异构化装置ISOM开车前误操作,造成烃分馏塔液面超出正常控制值。操作工对阀门和液面检查粗心大意,没有及时发现液面超标,加上装置本身设计安全措施不够完善,结果造成液面过高导致分馏塔超压,大量物料进入放空罐,气相组分从放空烟囱溢出后遇火发生爆炸。异构化装置的主管没有通过检查确保操作人员正确的操作程序,而且在事故发生的关键时刻离岗,设备操作人员没有及时拉响疏散警报,这都大大加剧了事故的严重程度。总之,装置本身设计安全措施不够完善,异构化装置主管的失职和值班工人没有遵循书面程序的规定是事故发生的根本原因。

传统设计技术中的安全措施不够完善可能主要有以下几个方面的原因:

(1) 现代化装置日益复杂、高度一体化。

(2) 设计满足标准规范要求,并不代表设计是最优化,标准规范通常只是最低标准。

(3) 传统技术方法容易遗漏设计缺陷:设计小组的注意力可能只集中在单个设备上,对工艺如何作为一个整体发挥其功能强调不够;设计人员通常考虑实现各种工况下的设计意图,但有可能忽视某些可能出现的非正常操作所导致的极端后果或影响。

(4) 设计人员的知识和经验有限。

对于设计中的安全问题,根据欧洲重大事故报告系统(MARS, 2004)统计数据:80%~95%的设计问题可以通过安全分析来发现和解决;5%~20%的设计中的安全隐患没有被发现,只不过大部分隐患尚未造成事故;事后的补救措施中,39%的设计问题被改进。

综上所述,在设计中有可能对潜在的危险认识不足,因此,设计技术中安全措施考虑得不够,加上生产运行中可能发生诊断错误、操作错误、报警故障、停车系统故障及管理系统

失效等情况，工艺事故在世界范围内时有发生。如何避免和减少该类事故的发生几率，对设计及在役阶段工艺装置进行 HAZOP 分析是最为有效和重要的手段之一。

从根本上讲，HAZOP 分析包括对工艺过程进行全面的描述，并对其每一部分进行系统的分析，以探讨什么样的偏离设计意向的偏差会出现。偏差一旦识别出来以后，便需要对这样的偏差和其造成的后果是否对安全生产带来负面影响进行评估。如果认为有必要，便需要采取措施来消除这样的状况。HAZOP 分析是一种设计审查，但与单独作业、没有人员互补的一般设计审查不同，它是一种结构化、系统化和全面化的审查。

第二节 HAZOP 分析的作用及使用

一、HAZOP 分析的作用

HAZOP 分析是一种结构化和系统化的检查技术，它的目标是：识别系统中潜在的危险（这些危险可能包括本质上只与系统现有区域有关的危险和有更大影响范围的危险）识别系统中潜在的操作性问题，特别是操作性干扰的原因和可能导致非一致性产品的生产偏离。

HAZOP 分析的一个重大好处是通过结构化和系统化的方法辨识潜在危险与可操作性问题，获得的结果有助于确定正确的补救措施。通常，HAZOP 分析有以下几方面作用：

（1）提高设计安全水平的同时，解决可能存在的操作问题；

（2）是工厂或装置全生命周期内工艺过程安全管理的一部分，为后续的风险控制和工艺安全管理（PSM）提供必要输入；

（3）使参与 HAZOP 分析的人员有机会充分了解设计意图，以及偏离设计意图可能产生的问题或危险；

（4）HAZOP 分析在完善设计的同时，也可用来编制、完善操作规程，同时为操作培训提供了很好的素材；

（5）HAZOP 分析所研究的状态参数都是操作人员需要控制的参数或指标，针对性强，有助于提高安全操作水平；

（6）有助于发现在役装置的安全隐患，提供隐患整改、节能减排、优化工艺流程的机会；

（7）对在役装置进行阶段性的回顾分析，可以发现由于各种微小改动所累积而成的对系统的影响，并尽早地予以控制或消除；

（8）HAZOP 分析的方法易于掌握，其系统的引导词引导方法，既避免了分析漫无边际、遗漏重点，又有助于启发思路、集思广益。

英国帝国化学工业公司监控部门对于工厂是否采用 HAZOP 分析 8 年的统计数据表明：采用 HAZOP 分析的工厂比没有采用的工厂大大减少了装置大、小修；装置从开工至达到设计工艺流程产量的时间缩短了 2/3。

国外的统计数据表明：HAZOP 分析可以减少 29% 设计原因的事故和 6% 操作原因的事故。

二、HAZOP 分析的使用

(一) 使用范围

通常, HAZOP 分析适用于工艺装置生命周期的各个阶段, 是辨识、评估和控制工艺操作危害的有效工具, 但更多的是用于工艺装置的设计及在役运行阶段。

1. 项目立项和可研阶段

在此阶段, 由于开展 HAZOP 分析所需的详细设计资料尚未形成, 应使用其他较为简单的危害分析方法(如检查表法、如果……怎么样法等)辨识出主要危害, 以利于随后进行的 HAZOP 分析。

2. 设计阶段

在此阶段, 形成初步设计、施工图设计, 并确定操作方法, 编制完成设计文档, 设计趋于成熟, 基本固定。该阶段是开展 HAZOP 分析的最佳时机。HAZOP 分析完成后, 为评估设计变更对系统的影响, 应建立设计变更管理办法。值得说明的是, HAZOP 分析应该在系统整个生命周期都起作用。

3. 制造、安装和试运行阶段

在此阶段, 如果工艺相对复杂或危险性高, 对操作的要求较高, 试运行存在一定危险, 或者在施工图设计后期出现了设计的较大变动时, 建议开车前进行一次 HAZOP 分析。

4. 生产和维护(在役)阶段

在此阶段, 对于那些影响系统安全、可操作性或影响环境的变更, 应考虑在变更前进行 HAZOP 分析。同时, 应定期对装置进行 HAZOP 分析。在进行 HAZOP 分析时, 应确保使用最新的设计文档和操作说明。对在役装置进行 HAZOP 分析时, 通常邀请有操作经验和现场管理经验的现场技术人员参加, 会起到较好的效果。

5. 停用和报废阶段

在此阶段, 当可能发生正常运行阶段不会出现的危险时, 需要进行危险分析。在系统整个生命周期都应保存好分析记录, 以确保能迅速解决停用和报废阶段出现的问题。

另外, 对于连续生产过程和间歇生产过程都可以采用 HAZOP 分析。在连续生产过程中, 管道内物料工艺参数的变化反映了各单元设备的状况, 因此连续生产过程中的分析对象是管道, 通过对管道内物料状态及工艺参数产生偏差的分析, 查出系统存在的危险, 对所有管道进行分析, 整个系统存在的危险也就一目了然。在间歇生产过程中, 分析的对象不再是管道, 而应该是主体设备, 如反应器等。根据间歇生产的特点, 分成三个阶段(即进料、反应和出料)对反应器进行分析。同时, 在这三个阶段内, 不仅要按照关键词来确定工艺状态及参数可能产生的偏差, 还要考虑操作顺序等因素可能出现的偏差, 这样才可以对间歇生产过程做出全面、系统的评估。

(二) 使用局限性

HAZOP 分析是一种危险辨识技术, 它逐一考虑系统的各个部分, 并全面检查偏离对各

个部分的影响，更多的是一种定性分析方法。HAZOP 分析也有其自身的局限性，因为任何一种辨识技术，都不可能保证所有的危险或可操作性问题都被识别。因此，一个复杂系统的分析，不应该完全依赖 HAZOP 分析，而应该与其他合适的技术结合应用。

例如，当 HAZOP 分析明确表明设备某特定部分的性能至关重要，需要深入研究时，采用故障类型与影响分析（FMEA）对该特定部分进行分析，有助于对 HAZOP 分析进行补充；通过 HAZOP 分析完单个要素/特性的偏差后，可以使用事故树分析（FTA）评价多个偏差的影响或使用 FTA 量化失效的可能性等。

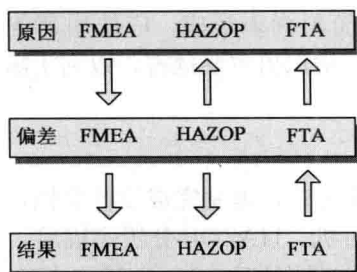


图 1-1 HAZOP 分析与其他分析方法的差别

HAZOP 与 FMEA 和 FTA 的差别见图 1-1。

通过图 1-1，可以看出三种分析方法的差异：FMEA 是从原因出发，寻找可能出现的偏差，及其可能导致的后果；而 FTA 是从结果出发，分析它是由何种偏差造成的，再寻找偏差产生的原因；HAZOP 是以偏差为切入点，向前寻找偏差产生的原因，向后寻找偏差可能导致哪些结果。

HAZOP 分析还可以与下例分析技术结合应用：

- (1) HAZOP+LOPA（保护层分析）+SIL（安全完整性等级）；
- (2) HAZOP+JSA（作业安全分析）；
- (3) HAZOP+SIL（安全完整性等级）；
- (4) HAZOP+LOPA+QRA（定量风险评价）。

另外，在一个有效、全面的安全管理系统中，与其他相关分析相协调是必要的。很多系统是高度关联的，其中的一个偏离可能源于其他地方。有限的局部缓解和保护作用可能导致无法找到真实的原因，并且仍然导致后续的事故。许多事故的发生是由于小的局部修改没有预见到其他方面的疏漏效应。虽然这种问题可以通过从一部分到另一部分进而执行偏离的推断解决，但实际上很少这样做。

当然，HAZOP 分析只是一个工具。完善的安全管理体系、标准体系、质量体系、工艺经验的积累以及工艺安全技术的应用才是最主要的安全保障。

第三节 HAZOP 分析在中国石油的应用

20 世纪 90 年代初，HAZOP 分析即被应用于中国石油独山子石化公司的 $14 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯工程建设项目、 $22 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯改造项目以及中国石油乌鲁木齐石化公司聚酯工程项目的个别化工装置工艺危险分析中。2005 年，独山子石化公司 $1000 \times 10^4 \text{ t/a}$ 炼油项目及 $100 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯工程建设项目（23 套生产装置）全部应用 HAZOP 分析。2009 年底，中国石油四川石化有限责任公司 $1000 \times 10^4 \text{ t/a}$ 炼油项目及 $100 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯工程建设项目（15 套生产装置）的 HAZOP 分析工作，宣告了中国石油全面应用 HAZOP 分析开展工艺危险分析工作正式启动。

2010年,为了规范HAZOP分析工作,加强工艺安全管理,提高本质安全水平,中国石油以油安(2010)866号文发布了《中国石油天然气股份有限公司危险与可操作性分析工作管理规定》(见附录1),明确要求具有流程性工艺特征的新、改、扩建项目和在役装置都要开展HAZOP分析工作,同时对企业开展HAZOP分析的实施要求、HAZOP小组的人员资格、企业开展HAZOP分析的经费保障以及奖惩措施做了详细的规定。随后发布的Q/SY 1364—2011《危险与可操作性分析技术指南》(见附录2),从根本上解决了企业如何开展HAZOP分析工作的问题,成为中国石油系统内企业开展HAZOP分析的技术标准。

截至2012年上半年,中国石油新、改、扩建项目中完成HAZOP分析的项目或装置共计800个,提出建议23643条。在役装置完成HAZOP分析的共计632套,提出建议8667条。

中国石油在大力推进HAZOP分析方法应用的同时,也加大人才培养力度,积极开展HAZOP培训工作。自2009年9月份举办第一期HAZOP分析技术培训班至今,共举办6期培训班,经培训共有259人取得HAZOP分析师资格证书。

与此同时,中国石油逐步开展HAZOP分析的技术研究工作,十一五期间先后完成了“应用HAZOP等先进方法实现公司本质安全研究”和“HAZOP、LOPA、SIL集成分析软件的开发与推广应用研究”两个科研课题,形成的《HAZOP分析技术导则》、《HAZOP分析评估工作管理办法》为企业HAZOP分析工作的开展提供了指导依据,编制的风险矩阵,为中国石油下属企业开展HAZOP分析提供了确定风险的依据。

十二五期间,中国石油继续加大HAZOP分析研究力度,其中“HAZOP专家系统开发及在役装置SIL评估与应用研究”,旨在通过HAZOP专家系统软件实现HAZOP分析成果的价值最大化。

截至目前,中国石油、勘探与生产、炼油与化工、天然气与管道等专业公司都在相当数量的油田建设项目、炼化建设项目和管道建设项目中应用了HAZOP分析技术,取得了良好的效果。这充分表明,开展HAZOP分析是顺应时势、满足企业自身发展的需要,该方法不仅可以提高装置的工艺设计水平和安全运行水平,减少事故的发生,还有助于提高企业管理层的安全意识,加强员工的操作技能和应急处置能力。

第二章 HAZOP 分析方法

第一节 HAZOP 分析的特征及常用术语

HAZOP 分析作为一种风险分析评价技术,自 20 世纪 70 年代由 ICI 公司开发建立以来,已广泛应用于生产工艺过程,通过对整个工厂的 HAZOP 分析来确定新建或已有的工艺方案、装置操作和功能实现的危险。这种方法对于检查可操作性的问题是有价值的,可以通过检查可操作性问题,发现工艺装置潜在的危险。历经数十年实践应用和发展完善,HAZOP 分析以其系统、科学的突出优势,在装置工艺危险辨识领域独占鳌头,在发达国家得到广泛应用,并备受推崇。

一、HAZOP 分析的特征

HAZOP 分析是一个详细辨识危险与可操作性问题的过程,由一个分析小组执行。HAZOP 分析识别来自设计意图的潜在偏差,并分析偏差产生的原因和评估偏差产生的后果。HAZOP 分析的主要特征包括如下几个方面:

(1) HAZOP 分析是一个创造性的过程。分析流程是通过系统化地应用一系列引导词识别来自设计意图潜在的偏差,并将该偏差作为“触发装置”来激励小组成员分析偏差是怎样发生的,可能的后果是什么。

(2) 分析是在一个训练有素、经验丰富的组长指导下进行的。组长必须用逻辑的、解析的思维以确保对分析系统的全面把握。组长最好有记录员帮助,记录员记录识别出来的危险、偏差导致的后果、现有控制措施、分析小组提出的建议措施或进一步评估建议。

(3) 分析依赖具有相应技术和经验的各专业专家,他们具有良好的专业技能和对风险的判断能力。

(4) 分析应该在一个积极思考和坦率讨论的气氛下进行,当找出一个问题时,应该做记录以备后续评估并确定解决方案。

(5) 提供问题的解决方案不是 HAZOP 分析的一个主要目的,但是如果这些解决方案一旦制定了就要记录下来,供负责设计的人员参考。

HAZOP 分析通常由定义、准备、分析、记录和后续跟踪四个基本步骤组成,如图 2-1 所示。

HAZOP 分析必须由不同专业人员组成的分析组来完成,这种分析小组成员的组成方式有助于相互促进、开拓思路。

二、常用术语

在 HAZOP 分析中,常用到以下术语:

(1) 设计意图。工艺流程(单元和特征参数)的设计思路、目的和设计运行状态或工作范围。

(2) 分析节点。代表系统某部分的本质特征的要素或组合，指具有确定边界的设备（如两容器之间的管线）单元，是为了便于进行危害与可操作性分析而将分析对象划分成的具体逻辑单元，是 HAZOP 分析的直接目标。

(3) 工艺参数。是与工艺过程有关的物理和化学特性，是单元定性或定量的特征，包括概念性的项目如反应、混合、浓度、pH 值，及具体项目如温度、压力、流量等。

(4) 引导词。用于定性（定量）表达或定义一种特定偏差的简单词语，引导识别工艺过程的危险，如多、少、高、低、逆向等。

(5) 偏差。设计意图的偏离。用引导词系统地每个分析节点的工艺参数进行引导发现的偏离工艺指标的情况；偏差的形式通常是“工艺参数+引导词”的组合。

(6) 危害。对人身造成伤害或健康损害，对环境造成破坏或对经济造成损失的因素。

(7) 危险。潜在的危险源。

(8) 原因。引起发生偏差的事件。一旦找到了原因，就意味着找到了纠正偏差的方法和手段，这些原因可能是设备故障、人为失误、不可预料的工艺状态（如组成改变）、外界干扰（如电源故障）等。

(9) 后果。偏差所造成的结果。后果分析时假定发生偏差时现有安全保护系统失效。

(10) 风险。某一特定危害事件发生的可能性与后果的组合。

(11) 安全保护。也称为已有保护措施。为防止各种偏差及由偏差造成的后果而设计的或当前装置已有的工程和控制措施，用以避免或减轻偏差发生时所造成的后果，如工艺报警、联锁、操作规程、在线监测仪表等。

(12) 建议措施。在已有安全保护措施不足时，HAZOP 分析小组共同提出的需要进一步采取的对策措施或进一步研究的方向。

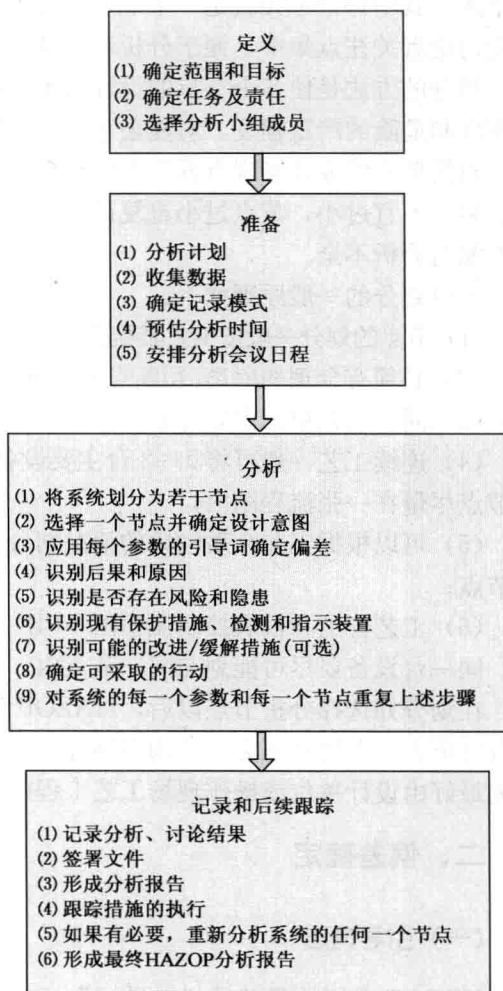


图 2-1 HAZOP 分析步骤

第二节 HAZOP 分析方法要点

一、节点划分

为了便于对目标装置进行 HAZOP 分析，按照一定的原则，假想把装置分为若干个小

的单元，其中每个单元就是一个节点。通过节点的单元划分，将复杂的工艺流程进行分解，可使讨论者关注点集中，便于分析和判断。

划分的方法是使各个节点的设计意图能被充分地界定。节点大小的选择可源于系统的复杂程度和危险的严重程度。对复杂系统或者那些显现有高危害的流程，节点划分范围可能更小；对简单系统或者显现有低危害的流程，将节点划分范围扩大能够加快分析速度。总之，节点划分不宜过小，节点过小重复讨论过多，影响分析效率；也不宜过大，节点过大容易出现遗漏与分析不全。

节点划分的一般原则如下：

- (1) 节点的划分一般按工艺流程进行，主要考虑工艺单元的目的与功能、工艺单元的物料；
- (2) 必须有合理的隔离/切断点和明确的边界；
- (3) 同一工艺单元内划分方法应该一致；
- (4) 连续工艺一般可将 1~2 台主要设备及附属工艺管线、控制仪表作为一个节点，同一节点尽量在一张流程图内；
- (5) 可以根据工艺介质性质的情况划分节点，工艺介质主要性质保持一致的，可作为一个节点；
- (6) 工艺管道和仪表控制流程图（PID 图）中所有设备、管线、控制仪表都要划到节点内，同一台设备要尽可能划在同一节点内。

在划分并选择分析节点以后，HAZOP 分析组组长应确认分析节点的关键参数，如设备的设计能力、温度和压力、结构规格等，并确保小组中的每一个成员都知道设计意图。如果可能最好由设计单位或操作现场工艺工程师做一次讲解。

二、偏差确定

（一）引导词法

HAZOP 分析的基础是“引导词”，对于每一个节点，HAZOP 分析小组以正常操作运行的参数为标准值，分析运行过程中参数的变动，即偏差。这些偏差通过引导词和参数引出。确定偏差最常用的方法是引导词法，即：偏差=引导词+参数。

HAZOP 分析小组要分析每一个节点（以及相关的特性），因为节点中对设计意图产生的偏离可能会导致不利的后果。确定来自设计意图产生的偏差是采用预先定义的“引导词”，通过提问的方式来达到的。引导词的作用是激发有想象的思考，集中精力的分析，引出观点并讨论，以最大可能性进行完整的分析。

1. 基本引导词

HAZOP 分析的基本引导词和含义见表 2-1。

表 2-1 基本引导词和含义

引 导 词	含 义	说 明	类 型
No（无）	对设计意图的完全否定	设计意图完全没有达到	量、质
Less（少）	数量减少	数量上与设计意图相比偏小	量

续表

引导词	含 义	说 明	类 型
More（多）	数量增加	数量上与设计意图相比偏大	量
Part of（部分）	质的减少	功能（质）上与设计意图相比偏少	质
As Well As（伴随）	质的增加	功能（质）上与设计意图相比偏多	质
Reverse（相逆）	设计意图的逻辑反面	与设计意图完全相反	量、质
Other Than（异常）	完全替代	与设计意图不完全一致，有其他情况出现	质
Early（早）	时间超前	时间上与设计意图相比偏早	时间
Late（晚）	时间滞后	时间上与设计意图相比偏晚	时间
Faster（快）	速度增加	速度上与设计意图相比偏快	速度
Slower（慢）	速度减少	速度上与设计意图相比偏慢	速度

附加的引导词可能有助于对偏离的辨识。只要在分析开始前定义了，就可以选择确定的引导词。

2. 参数

HAZOP 分析过程中，经常运用不同的参数/引导词来协助完成对节点内各工艺和设备单元的分析工作。根据描述特性，参数分为工艺参数和其他参数两类。

工艺参数是反映工艺过程中各种工艺介质的特性（物理、化学）的术语。通常可分为两类，一类是具体参数（如流量、温度、压力、差压、液位等），另一类是概念性的参数（如反应、混合、浓度、pH 值等）。工艺参数是 HAZOP 分析的重点关注内容。

其他参数包括检修、腐蚀、泄漏、振动、人为因素等，是作为工艺参数的补充而存在的，它们和工艺参数的使用一样，用来引导和协助分析小组确定分析方向。

在各节点 HAZOP 分析过程中，参数的使用往往不尽相同，参数是根据各节点内单体设备和工艺单元的具体设计意图合理使用的。天然气净化厂 HAZOP 分析中常见的工艺参数见表 2-2。

表 2-2 天然气净化厂常见工艺参数举例

序 号	工 艺 参 数	序 号	其 他 参 数
1	流量	1	泄漏
2	压力	2	腐蚀
3	压差	3	检修
4	液位	4	振动
5	温度	5	通风
6	反应	6	泄放
7	浓度	7	人为因素
8	黏度		
9	密度		
10	组成		
11	pH 值		

3. 偏差确定

偏差实际上就是偏离，其包括两方面的内容：一是指轻微偏离，即偏离了生产中正常的控制和操作参数，但未超出设计的极限要求；二是指严重偏离，即严重偏离了原来的设计要求数值范围。从事件发展的角度来看，这两方面实际上是偏离发生后体现在时间上的不同阶段，或者说是相同的偏离不同的程度。

生产经验告诉我们：偏差（尤其是超出设计范围）的出现可能会带来意想不到的危险，因此将偏差看成是严重威胁安全的隐形杀手。但是，生产实践中偏差往往是不可避免的，由于设备、仪表等故障，或者因人为因素影响等原因，就可能出现各种偏差，这可能会造成严重的工艺危害事故发生。因此，在 HAZOP 分析过程中要充分利用偏差这种特性，人为假设偏差的出现，通过考虑可能产生的后果及现有的保护措施，分析判断偏差出现后的工艺危害程度。

在 HAZOP 分析中，偏差是引导词与参数的组合，即：偏差＝引导词＋参数。

对于具体类的工艺参数，当与引导词组成偏差时，大多不易发生歧义，如“多＋流量”就表明流量过高，“无（或少）＋流量”就表明无（或过少）流量。但有些引导词与工艺参数组合后可能无意义或不能称之为“偏差”，如“伴随＋压力”，或者有些偏差的物理意义不确切。对于概念类的工艺参数，当与引导词组成偏差时，常发生歧义，如“多＋反应”可能是指反应速度过快，或指生成了大量的产品。所以有必要对一些引导词进行修改，并在实际应用中应注意拓展引导词的外延和内涵。因此分析小组在确定了所有的引导词和参数后，应列出一个偏差矩阵，确定有效偏差的内容。表 2-3 是一个常用偏差矩阵示例。

表 2-3 常用偏差矩阵示例

引导词 参数	No (无)	Less (少)	More (多)	Part of (部分)	As Well As (伴随)	Reverse (相逆)	Other Than (异常)
流量	无流量	流量过小	流量过大	间歇性	杂质	逆流	错流
压力		压力过低	压力过高			真空	
压差			压差过高				
液位		液位过低	液位过高				
温度		温度过低	温度过高				
真空度		真空度低	真空度高			正压	
反应	终止	过慢	剧烈	不完全	副反应	逆反应	催化剂失活
腐蚀			腐蚀加剧	不均匀腐蚀			
时间	缺步骤	过短	过长			顺序颠倒	
开、停工	缺步骤					顺序颠倒	
泄放	无法泄放	泄放过小	泄放过大		介质异常	倒吸	故障
检修	未检修			检修不完全			意外事情

在分析上述偏差矩阵时，有两种可能的顺序，即逐列，也就是引导词优先，或者逐行，也就是工艺参数优先。