

SHIYOUHUAGONGANQUANGAILUN

石油化工安全概论

王凯全 主编



中国石化出版社

石油化工安全概论

王凯全 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了石油化工生产安全技术及管理的基本知识。

全书共分为五章。第一章概括了系统安全科学的基本思想,重点介绍了安全分析、安全评价、危险控制的主要方法,简述了事故管理基本知识以及安全管理的原则;第二章结合石油化工生产过程的安全问题,重点介绍了常见危险和有害化学物质、石油化工生产过程的危险性、主要反应过程的危险性、单元操作的危险性等安全知识;第三章结合石油化工装备安全问题,重点介绍了装备本质安全、人机工程学、装备生命期的安全管理以及隐患监测等安全知识;第四章结合石油化工控制系统的安全问题,重点介绍了安全检测仪器与安全保护系统、信息安全技术、电气安全技术以及静电防治等安全知识;第五章结合石油化工经济安全问题,重点介绍了安全经济学、风险管理和经济安全等安全知识。

本书强调完整性和实用性,各章均配有事故案例,可供从事石油化工安全技术及管理的人员使用,也可供化工类高校师生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工安全概论/王凯全主编.
—北京:中国石化出版社,2005
ISBN 7-80164-929-X

I.石… II.王… III.石油化工-安全技术-概论
IV. TE687

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 140698 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 379 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

前 言

石油化工生产中的原料和产品绝大多数为易燃、易爆及有毒、有害的物质，生产工艺的连续性强，集中化程度高，技术复杂，设备种类繁多，极易发生破坏性很大的事故，严重威胁职工的生命和国家财产的安全。石油化工生产已成为现代生产中危险源最集中、危险性最高的行业之一。安全生产是石化行业的首要问题，必须高度重视，警钟长鸣。

全面了解和掌握石油化工安全技术和管理的基本思想、基本理论和基本方法，牢固树立安全意识是对每个石油化工企业技术人员和管理人员的基本要求。以石油化工技术和管理人才为主要培养目标的江苏工业学院，多年来将《石油化工安全概论》作为各专业学生的必修课，旨在落实党的“安全第一”的方针，使学生初步掌握石化安全技术和管理知识，结合本专业的具体工作，为石化生产的安(全)、稳(定)、长(期)、满(负荷)、优(质)作出自己的贡献。

本书是在多年教学和科研的基础上，结合近年来安全技术和管理工作迅速发展的状况，以及广大技术人员和管理人员进行知识更新的需要而编写的。主要内容包含安全技术基础、化工安全、机械安全、电气和信息安全、经济安全等知识。在编写过程中，作者力求将系统安全的基本理论和分析方法与石化生产中的具体安全问题相结合，既注意提高安全理论水平，又注重解决实际问题。在对理论和分析方法的阐述中强调了实用性和可操作性，在各章主要内容之后均安排了一定数量的案例。考虑到石化企业计算机化管理和网络技术的全面普及以及企业市场化进程的加快，本书特别编入了信息安全和经济安全的内容。

本书是在江苏工业学院《石油化工安全技术》内部教材基础上修订的，原书由王凯全、裘兆蓉、朱国彪、姚志远、张新年、郑明芳、韩英等同志编写，王凯全同志承担统调和统审。修订稿根据需要，更名为《石油化工安全概论》，增加了近年最新的研究和实践成果。王凯全、邵辉、朱国彪、王新颖、郑明芳、韩英、袁雄军同志参加了修订工作，王凯全同志仍承担统调和统审。

在本书编写过程中，作者参阅和利用了大量文献资料，在此对原著作者表示感谢。由于作者水平有限、时间仓促，本书中还会有一些不当之处，敬请专家、读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 安全科学技术概论	(1)
1.1 安全与系统安全	(1)
1.2 系统安全分析	(5)
1.3 系统危险性评价	(20)
1.4 系统危险控制	(27)
1.5 事故管理	(32)
1.6 安全法规与安全管理体系	(40)
第 2 章 石油化工安全生产基础	(49)
2.1 石油化工生产的特点	(49)
2.2 石油化工常见危险化学品物质	(51)
2.3 石油化工常见有毒与有害物品	(57)
2.4 石油化工危险工艺过程概述	(62)
2.5 石油化工生产中典型化学反应的安全技术	(68)
2.6 石油化工单元操作的危险性分析	(79)
2.7 石油化工生产典型事故案例介绍	(88)
第 3 章 石油化工装备安全概论	(92)
3.1 石油化工装备常见事故类型	(92)
3.2 石油化工装备的本质安全化	(95)
3.3 人机工程设计在石油化工装备上的应用	(100)
3.4 石油化工装备的安全设计	(110)
3.5 石油化工装备的安全管理	(121)
3.6 石油化工设备的检测	(140)
3.7 典型石油化工装备事故分析	(146)
第 4 章 石油化工电气控制系统安全概论	(156)
4.1 石油化工电气过程控制及其发展	(156)
4.2 安全检测仪器与安全保护系统	(157)
4.3 计算机网络信息安全概论	(171)
4.4 电气安全技术概论	(175)
4.5 静电及其防治	(184)
4.6 典型石油化工控制事故分析	(190)
第 5 章 石油化工经济安全概论	(194)
5.1 安全经济学概论	(194)
5.2 经济安全基础——风险概论	(202)
5.3 经济风险的管理	(204)
5.4 经济风险管理典型案例	(230)
参考文献	(234)

第 1 章 安全科学技术概论

1.1 安全与系统安全

1.1.1 安全与危险

(1) 安全

安全(Safety)是指在生产活动过程中,能将人员伤亡或财产损失控制在可接受水平之下的状态。安全具有下述含义:

① 这里所研究的是生产领域的安全问题,既不涉及军事或社会意义的安全与保安,也不涉及与疾病有关的安全;

② 安全不是瞬间的结果,而是对于某种过程状态的描述;

③ 安全是相对的,绝对安全是不存在的;

构成安全问题的矛盾双方是安全与危险,而非安全与事故。因此,衡量一个生产系统是否安全,不应仅仅依靠事故指标;

⑤ 不同的时代,不同的生产领域,可接受的损失水平是不同的,因而衡量系统是否安全的标准也是不同的。

(2) 危险

危险(Danger)是指在生产活动过程中,人员或财产遭受损失的可能性超出了可接受范围的一种状态。危险包含了各种隐患;包含尚未为人所认识的以及虽为人们所认识但尚未为人所控制的各种潜在危险;同时,危险还包含了安全与不安全一对矛盾斗争过程中某些瞬间突变所表现出来的事故结果。

(3) 风险或危险性

风险(Risk)是描述系统危险程度的客观量,又称危险性(Danger Property)。通常人们用风险可能导致的事故概率和事故后果两方面评价系统的风险或系统的危险性。“风险”一词在不同场合,含义有所不同。例如,在保险业务上,风险是指保险标地(人或物)遭受损害的可能性及其可能的损害程度;在经济领域中,风险则不仅包含损失的可能性,也包含获益的希望,又称为危机(危险和机会)。

(4) 安全性

安全性(Safety Property)是指确保安全的程度,是衡量系统安全程度的客观量。与安全性对立的观念是风险(危险性)。假定系统的安全性为 S ,危险性为 R ,则有 $S = 1 - R$ 。显然, R 越小, S 越大;反之亦然。若在一定程度上消减了危险因素,就等于创造了安全。安全、危险、安全性、危险性的相互关系见图 1-1。

(5) 事故

事故(Accident)是指在生产活动过程中,由于人们受到科学知识和技术力量的限制,或者由于认识上的局

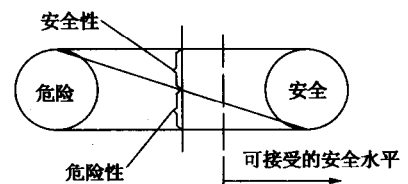


图 1-1 安全与危险



限,当前还不能防止,或能防止但未有效控制而发生的违背人们意愿的事件序列。

事故后果(Consequence)是因事故造成的迫使系统暂时或较长期的中断运行,人员伤亡或者财产损失的事件的总和。

人们应从防止事故发生和控制事故的严重后果两方面来认识和预防事故。在日常生产、生活中,人们往往对事故的后果,特别是引起严重人员伤亡或财物损失的事故后果印象深刻,关注具有严重后果的事故;相反地,对后果非常轻微的事故麻木、忽略,甚至不认为是事故。这不但不利于对事故的预防,也不利于对事故后果的控制,对安全工作是极其有害的。

(6) 隐患

隐患(Accident Potential)是潜藏的祸患。在生产活动过程中,隐患是指由于人们受到科学知识和技术力量的限制,或者由于认识上的局限,未能有效控制的有可能引起事故的行为或状态。从系统安全的角度看,人们所说的隐患包括一切可能对人-机-环境系统带来损害的不安全因素。

(7) 安全科学

安全科学(Safety Science)是研究人与机器和环境之间的相互作用,保障人类生产和生活安全的科学,或者说是研究事故发生、发展规律及其预防的理论体系。安全科学的研究对象是人类生产和生活中的不安全因素,或者说是各种技术危害,如工业事故、交通事故、职业危害等。

1.1.2 系统安全与系统安全工程

(1) 系统安全

系统安全(System Safety)是人们为解决复杂系统的安全性问题而开发、研究出来的安全理论、方法体系。所谓系统安全,是在系统寿命期间内应用系统安全工程和管理方法,辨识系统中的危险源,评价系统的危险性,并采取控制措施使其危险性最小,从而使系统在规定的性能、时间和成本范围内达到最佳的安全程度。

系统安全的主要观点包括:

① 没有绝对的安全

任何事物中都包含有不安全的因素,具有一定的危险性。“安全的”工厂、生产过程并不意味着已经杜绝了事故和事故损失,只不过相对地事故发生概率较低,事故损失较少而已。系统安全所追求的目标也就不是“事故为零”那样极端理想的情况,而是达到“最佳的安全程度”,达到一种实际可能的、相对的安全目标。

② 安全工作贯穿于系统的整个寿命期间

该项原则充分体现了系统安全的重要特征:安全工作不应只在系统运行阶段进行,而应贯穿于整个系统寿命期间,即在新系统的构思、可行性论证、设计、建造、试运转、运转、维修直到废弃的各个阶段都要辨识、评价、控制系统中的危险性。

③ 系统危险源是事故发生的根本原因

系统安全认为,系统中存在的危险源是事故发生的根本原因。按定义,危险源是可能导致事故的潜在的不安全因素。系统安全的基本内容就是辨识系统中的危险源,采取措施消除和控制系统中危险源,使系统安全。

(2) 系统安全工程

系统安全工程(System Safety Engineering)是运用科学和工程技术手段辨识、消除或控制系统中的危险源,实现系统安全的工作。系统安全工程包括系统危险源辨识、危险性评价、危险源控制等基本内容。

① 危险源辨识

危险源辨识(Hazard Identification)是发现、识别系统中危险源的工作。它是危险源控制的基础。

系统安全分析方法是危险源辨识的主要方法。系统安全分析方法可以用于辨识已有事故记录的危险源,也可用于辨识没有事故经验的系统的危险源。系统越复杂,越需要利用系统安全分析方法来辨识危险源。

② 危险性评价

危险性评价(Risk Assessment)是评价危险源导致事故、造成人员伤害或财产损失的危险程度的工作。

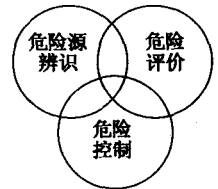
系统中往往有许多危险源,危险性评价应全面分析系统中存在的各种危险源,对其进行综合评价。同时,由于任何系统都存在一定的危险源控制措施,危险性评价还要分析这些控制措施的效果。

当危险性评价结果认为系统危险性低于“可接受的安全水平”时可以被忽略,否则要采取控制措施。

③ 危险源控制

危险源控制(Hazard Control)是利用工程技术和管理手段消除、控制危险源,防止危险源导致事故、造成人员伤害和财物损失的工作。

按一般意义上的理解,应该在危险源辨识的基础上进行危险源评价,根据危险源评价的结果采取危险源控制措施。实际工作中,这三项工作并非严格地按这样的程序分阶段独立进行,而是相互交叉、相互重叠进行的(见图1-2)。



1.1.3 石化生产系统安全

石化生产系统是以原油、原油炼制后的产品、油田伴生气或天然气为原料,采取特定工艺,生产燃料性油品、润滑性油品、化工原料、化工中间体和化工产品的工业生产过程系统。石化工业是我国的支柱产业。石化产品渗透到国民经济各个领域,给人们的生产生活带来巨大影响。

(1) 石化生产系统的危险性

化工和石油化工与矿山、建筑行业是现代生产过程中三个危险最集中、危险性最高的行业。与其他行业相比,石化生产系统具有如下特征:

① 生产物资的多危险性

石化生产从原料到产品,包括各种半成品、中间体、溶剂、添加剂、催化剂等,绝大多数属于易燃易爆、有毒有害和强腐蚀性的物质,具有发生各类火灾、爆炸、泄漏、损伤、毒害事故的可能。

② 生产工艺的连续性和长周期性

石化生产工艺多、过程复杂,各工厂、车间、工序之间原料、产品互相利用、互相制

图1-2 系统安全工程的基本内容

约, 必须按比例严密配合、连续长周期作业。这种连续和长周期性在逻辑上形成串联系统, 而串联系统中任何子系统、元素发生故障都会导致系统的故障。因此, 石化生产系统是相对脆弱的系统。

③ 加工过程的封闭性

一切加工过程都被封闭在管、泵、罐中, 其内部状况难以直接观察。整个生产情况都要根据由传感器、变送器输送到控制仪器仪表上的各种压力、流量、温度信号来反映, 在控制对象和控制者之间增加了中间环节, 影响了人们对系统事故规律的认识。

④ 物耗、能耗的集中化和扩大化

近年来, 石化生产一次加工能力不断提高, 年加工能力在数百万吨的装置依次投产, 生产中的能耗、物耗在不断集中化和扩大化。一旦发生事故, 其后果的严重程度大大增加。

石化生产系统的上述特点, 使其生产中事故发生的种类、事故发生的可能性、事故的规模及其后果的严重程度都在大大增加。目前就世界范围而言, 化工和石油化工事故的危害已居各种工业事故危害的首位。1984年12月19日, 印度博帕尔农药厂甲基异氰酸酯泄漏造成20万人中毒, 5万人双目受害, 2500人死亡。1989年8月12日, 我国青岛某油库雷电导致爆炸, 罐区燃烧104小时, 烧掉原油3.6万吨, 直接损失3540万元, 死亡19人, 伤68人。1993年8月5日, 深圳某仓库因将危险化学品混储, 造成自燃火灾和爆炸, 燃烧81小时, 死亡18人, 重伤136人, 炸毁建筑物39000m²和大量化学物品, 直接损失2.5亿元。1997年6月27日, 北京某化工厂轻柴油被错误卸到装满石油脑的罐中, 造成严重泄漏, 发生爆炸, 死亡9人, 伤37人, 20余个装有化工物料的球罐被毁, 直接损失近2亿元。这些特重大事故都一再证明, 化工和石油化工生产系统安全工作任重而道远。

(2) 石化生产系统安全基本理论

在诸多系统安全基本理论中, 适合石化生产特点的是能量释放理论和两类危险源理论。

① 能量释放理论

能量释放理论认为事故是一种不正常的或不希望的能量释放, 各种形式的能量是构成伤害的直接原因。于是, 应该通过控制能量或控制能量载体来预防伤害事故。

石化生产过程是各种化学能或物理能相互转化的过程。在这个过程中, 如果由于某种原因失去了对能量的控制, 超越了人们设置的约束或限制, 就会发生能量违背人的意愿的意外释放或逸出, 使进行中的活动中止而发生事故。如果失去控制而意外释放的能量作用于人体, 并且能量的作用超过人体的承受能力, 则将造成人员伤害。如果意外释放的能量作用于设备、建筑物、物体等, 并且能量的作用超过它们的抵抗能力, 则将造成设备、建筑物、物体的损坏。

图1-3为由于能量意外释放而发生事故的连锁过程。这个连锁过程告诉我们, 要防止管理失误、人的不安全行为和物的不安全状态, 注意生产过程中能量的流动、转换, 以及不同形式能量的相互作用, 从减少能量和加强防护设施两方面防止发生能量的意外释放或逸出。

② 两类危险源理论

根据危险源在事故发生、发展中的作用, 把危险源划分为两大类, 即第一类危险源和第二类危险源。

a. 第一类危险源 根据能量意外释放论, 把系统中存在的、可能发生意外释放的能量或危险物质称作第一类危险源。常见的第一类危险源如下:

系统分析方法主要有如下几种：

- ① 安全检查表法(Safety Check list, SCL);
- ② 预先危害分析(Preliminary Hazard Analysis, PHA);
- ③ 故障类型和影响分析(Failure Model and Effects Analysis, FMEA);
- ④ 危险性和可操作性研究(Hazard and Operability Analysis, HAZOP);
- ⑤ 事件树分析(Event Tree Analysis, ETA);
- ⑥ 事故树分析(Fault Tree Analysis, FTA)。

此外，还有因果分析(Cause-Consequence Analysis, CCA)、What If(如果出现异常将会怎样?)分析、MORT(管理疏忽和危险树)分析等方法，可用于特定目的的系统安全分析。在系统寿命不同阶段的危险源辨识中，应选择相应的系统安全分析方法。表 1-1 为系统寿命期间内各阶段适用的系统安全分析方法的情况。

表 1-1 系统安全方法适用情况

分析方法	开发研制	方案设计	样机	详细设计	建造投产	日常运行	改造扩建	事故调查	拆除
检查表		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
预先危险分析	✓	✓	✓	✓			✓		✓
危险与可操作性研究			✓	✓		✓	✓		✓
故障类型与影响分析			✓	✓		✓	✓		✓
事件树分析			✓	✓		✓	✓	✓	✓
事故树分析			✓	✓		✓	✓	✓	✓
因果分析			✓	✓		✓	✓		✓

1.2.2 安全检查表

安全检查表是一份进行安全检查和诊断的清单。它由一些有经验的、对相关安全法规和制度、工艺过程、检查设备、作业情况熟悉的人员，事先对检查对象共同进行详细分析、充分讨论、列出检查项目和检查要点并编制成表。为防止遗漏，在制定安全检查表时，通常要把检查对象分割为若干子系统，按子系统的特征逐个编制安全检查表。在系统安全设计或安全检查时，按照安全检查表确定的项目和要求，逐项落实安全措施，保证系统安全。

(1) 安全检查表的编程序

- ① 确定人员 要编制一个符合客观实际，能全面识别系统危险性的安全检查表，首先要建立一个编制小组，其成员包括熟悉系统的各方面人员；
- ② 熟悉系统 包括系统的结构、功能、工艺流程、操作条件、布置和已有的安全卫生设施；
- ③ 收集资料 收集有关安全法律、法规、规程、标准、制度及本系统曾发生过的事故资料，作为编制安全检查表的依据；
- ④ 判别危险源 按功能或结构将系统划分为子系统或单元，逐个分析潜在的危险因素；
- ⑤ 列出安全检查表 针对危险因素、有关规章制度、以往的事故教训以及本单位的检验，确定安全检查表的要点和内容，然后按照一定的要求列出表格。

(2) 安全检查表的格式

安全检查表一般包括检查日期、检查人员、检查项目、检查内容和要求、检查结果、处理意见、整改措施等。

(3) 实例

德国制定的手持灭火器安全检查表如表 1-2 所示。

表 1-2 手持灭火器安全检查表

序号	需要遵循有关法规、规范和标准
1	事故预防总则(UVV)第 19 条
2	职业协会总联合会标准(HZ1/201) - “工厂手持灭火器的配置”
3	职业协会总联合会标准(ZH/224) - “汽车库防火制度”第 48 条

手持灭火器用于扑灭初始状态的火灾, 必须保证随时备用状态, 尽可能放在易发生火灾的地点, 或放在工作地点及车间的出入口、过道旁, 以便随时取用。通往灭火器的通道任何时候都应该畅通无阻。

手持灭火器的配置数量, 通常根据火灾危险程度和厂房类型, 以及厂房的面积大小来决定。其配置数量如表 1-3。

表 1-3 手持灭火器的配置数量和安全检查项目

不同火灾危险程度灭火器的配备数量			
火灾危险	最小配备灭火器个数	最大厂房面积/m ²	扩大厂房面积需要增加的灭火器个数
火灾危险小(如机械车间等)	2	150	每扩大 400m ² 增加 1 个
火灾危险中等(如仓库等)	2	100	每扩大 200m ² 增加 1 个
火灾危险大(如木材加工等)	2	50	每扩大 200m ² 增加 2 个

序号	安全检查项目	是否或注
1	有足够数量的手持灭火器吗?	
2	灭火器放置地点能使任何人都看到吗?(易看到, 加标记且不宜放置太高)	
3	每个灭火器上都有检验标志吗?(按规定至少每两年由专业人员检验一次)	
4	灭火器对所有要扑灭的火灾适应吗?(湿式和泡沫灭火器对电气火灾不适应)	
5	操作人员都熟悉灭火器的操作规程吗?	
6	四氯化碳灭火器是否已经被其他灭火器所取代?	
7	在规定的所有地点都配置了灭火器吗?	
8	灭火剂易冻的灭火器(如湿式灭火器)采取了防冻措施吗?	
9	用过的或已经损坏的灭火器都已更新过吗?	
10	每个人都知道自己工作区域内灭火器所在的位置吗?	
11	汽车库有必备的灭火器吗?	

检查对象	检查时间	检查人	被检查单位责任人	整改负责人	整改期限

1.2.3 预先危害分析

预先危害分析是在系统付诸实施之前, 根据经验和理论推断, 辨识可能出现的危险源, 提出预防、改正、补救等安全技术措施, 消除或控制事故的系统安全分析方法。

(1) 预先危害分析程序

① 准备工作

在进行分析之前要收集对象系统的资料和其他类似系统或使用类似设备、工艺物质的系

统的资料。要弄清对象系统的功能、构造，为实现其功能选用的工艺过程、使用的设备、物质、材料等。

② 审查

通过对方案设计、主要工艺和设备的安全审查，辨识其中的主要危险源，也包括审查设计规范 and 采取的消除危险源的措施。

一般应按照预先编好的安全检查表进行审查，其中审查内容主要有以下几方面：

a. 危险设备、场所、物质；b. 有关安全的设备、物质间的交接面，如物质的相互反应，火灾、爆炸的发生及传播，控制系统等；c. 可能影响设备、物质的环境因素，如地震、洪水、高(低)温、潮湿、振动等；d. 运行、试验、维修、应急程序，如人失误后果的严重性，操作者的任务，设备布置及通道情况，人员防护等。e. 辅助设施，如物质、产品储存，试验设备，人员训练，动力供应等；f. 有关安全的设备，如安全防护设施，冗余设备，灭火系统，安全监控系统，个人防护设备等。

根据审查结果，确定系统中的主要危险源，研究其产生原因和可能导致的事故。根据导致事故原因的重要性和事故后果的严重程度，把危险源进行粗略地分类。一般地，可以把危险源划分为4级：

I级：安全的，可以忽略；

II级：临界的，有导致事故的可能性，事故后果轻微，应该注意控制；

III级：危险的，可能导致事故、造成人员伤亡或财物损失，必须采取措施控制；

IV级：灾难的，可能导致事故、造成人员严重伤亡或财物巨大损失，必须设法消除。

针对不同级别的危险源，有重点地采取修改设计、增加安全措施来消除或控制它们，从而达到系统安全的目的。

③ 结果汇总

以表格的形式汇总分析结果。典型的结果汇总表包括主要的事故，产生原因，可能的后果，危险性级别，应采取的措施等栏目。

(2) 实例

为硫化氢(H_2S)输送到反应装置的设计方案进行预先危害分析。在设计初期，分析者只知道在工艺过程中处理的物质是硫化氢，以及硫化氢有毒、可燃烧。于是，把硫化氢意外泄漏作为可能的事，进行了预先危险分析(见表1-4)。

表 1-4 硫化氢输送系统预先危害分析

分析对象:硫化氢输送系统			分析者:	分析时间:
事故	原因	后果	级别	建议的措施
毒物 泄漏	储罐破裂	大量泄漏导致人员伤亡	IV	采用泄漏报警系统 最小储存量
	反应过剩	泄漏可能导致人员伤亡	III	制定巡检规程 过剩硫化氢收集处理系统 安全监控(紧急停车)系统 制定规程保证收集处理系统先于装置运行

1.2.4 故障类型和影响分析

故障类型和影响分析是以可能发生的不同类型的故障为起点对系统的各组成部分、元素进行的系统安全分析。这种分析方法首先找出系统中各组成部分及元素可能发生的故障及其

类型,查明各种类型故障对邻近部分或元素的影响以及最终对系统的影响,然后提出避免或减少这些影响的措施。最初的故障类型和影响分析(FMEA)只能做定性分析,后来在分析中包括了故障发生难易程度的评价或发生的概率。更进一步地把它与危险度分析结合起来,构成故障类型和影响、危险度分析(Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA)。这样,如果确定了每个元素故障发生概率,就可以确定设备、系统或装置的故障发生概率,从而定量地描述故障的影响。

(1) 故障类型和影响分析程序

① 确定对象系统

- a. 明确作为分析对象的系统、装置或设备。
- b. 确定进行分析的物理的系统边界。划清对象系统、装置、设备与邻接系统、装置、设备的界线,圈定所属的元素、设备、元件。
- c. 确定系统分析的边界。它包括两方面的问题:
明确分析时不需考虑的故障类型、运行结果、原因或防护装置等,如分析故障原因时不考虑飞机坠落到系统上、地震、龙卷风等;
明确初始运行条件或设备、元件状态等,如作为初始运行条件必须明确正常情况下阀门是开启还是关闭的。

- d. 收集设备、元件的最新资料,包括其功能、与其他设备、元件间的功能关系等。

② 分析系统元素的故障类型和产生原因

确定故障类型可以从以下两方面着手:

- a. 如果分析对象是已有元素,则可以根据以往运行经验或试验情况确定元素的故障类型;
- b. 如果分析对象是设计中的新元素,则可以参考其他类似元素的故障类型,或者对元素进行可靠性分析来确定元素的故障类型。

一般地,一个元素可能至少有4种可能的故障类型:意外运行;不能按时运行;不能按时停止;运行期间故障。

③ 研究故障类型的影响

通常从三个方面来研究元素故障类型的影响:

- a. 该元素故障类型对相邻元素的影响。
- b. 该元素故障类型对整个系统的影响。
- c. 该元素故障类型对邻近系统的影响及对周围环境的影响。

④ 故障类型和影响分析表格

分析者可以根据分析的目的、要求设立必要的栏目,简捷明了地显示全部分析内容。

(2) 实例

对起重机的两种主要故障(钢丝绳过卷和切断)进行的分析如表1-5所示。

(3) 故障类型和影响、危险度分析

故障类型和影响、危险度分析包括两个方面的分析是在故障类型和影响分析基础上进行危险度分析。

危险度分析的目的在于评价每种故障类型的危险度,据此确定校正措施。一般,采用概率-严重度来评价故障类型的危险度。这里概率为故障类型出现的概率,严重度为故障后果的严重度。

表 1-5 起重机的故障类型和影响、危险度分析(部分)

项 目	构成因素	故障模式	故障影响	危险严重度	故障发生概率	检查方法	校正措施和注意事项
防止过卷装置	电气零件 机械部分 安装螺栓	动作不可靠	误动作	大	10^{-2}	通电检查	立即修理
		变形生锈	破损	中	10^{-4}	观察	警戒
		松动	误报、失报	小	10^{-3}	观察	立即修理
钢丝绳	绳 单根钢丝	变形、扭结	切断	中	10^{-4}	观察	立即更换
		15%切断	切断	大	10^{-1}	观察	立即更换

注:危险的严重度:大(危险);中(临界);小(安全)。

校正措施:立即停止作业 看准机会修理 注意

发生概率:非常容易发生的 10^{-1} ;容易发生的 10^{-2} ;偶尔发生的 10^{-3} ;

不太发生的 10^{-4} ;几乎不发生的 10^{-5} ;很难发生的 10^{-6} 。

1.2.5 危险性与可操作性研究

危险性与可操作性研究运用系统审查方法全面地审查工艺过程,对各个部分进行系统的提问,发现可能的偏离设计意图的情况,分析其产生原因及其后果,并针对其产生原因采取恰当的控制措施。由于通常用系统温度、压力、流量等过程参数的偏差来判断偏离设计意图的情况,因此危险性与可操作性研究特别适合于石化工业的系统安全分析。

危险性与可操作性研究需要由一组人而不是一人实行,这一点有别于其他系统安全分析方法。通常,分析小组成员应该包括相关各领域的专家,采用头脑风暴法(brain storming)来进行创造性的工作。

(1) 基本概念和术语

危险性和可操作性研究中,常用的术语如下:

① 意图。希望工艺的某一部分完成的功能,可以用多种方式表达,在很多情况下用流程图描述。

② 偏离。背离设计意图的情况,在分析中运用引导词系统地审查工艺参数来发现偏离。

③ 原因。引起偏离的原因,可能是物的故障、人失误、意外的工艺状态(如成分的变化)或外界破坏等。

④ 后果。偏离设计意图所造成的后果(如有毒物质泄漏等)。

⑤ 引导词。在辨识危险源的过程中引导、启发人的思维,对设计意图定性或定量的简单词语。表 1-6 为危险性与可操作性研究的引导词。

表 1-6 危险性与可操作性研究的引导词

引导词	意义	注 释
没有或不	对意图的完全否定	意图的任何部分没有达到,也没有其他事情发生
较多 较少	量的增加或减少	原有量 ± 增值,如流速、温度,或是对原有活动,如“加热”和“反应”的增减
也,又 部分	量的增加 量的减少	与某些附加活动一起,全部设计或操作意图达到 只是一些意图达到,一些未达到
反向 不同于 非	意图的逻辑反面 替代 完全替代	这最适用于流动,例如,流动或化学反应的反向。也可用于物质,如“中毒”代 “解毒” 原意图一部分没有达到 完全另外的事情发生

⑥ 工艺参数。有关工艺的物理或化学特性,它包括一般项目,如反应、混合、浓度、

pH值等，以及特殊项目，如温度、压力、相态、流量等。表1-7列出了对一般生产工艺进行危险性与可操作性研究时通常考虑的工艺参数。

表1-7 常用工艺参数

流量	时间	频率	混合
压力	成分	速度	添加
温度	pH值	浓度	分离
液位	速度	电压	反应

表1-8为化工生产过程中一些工艺参数出现偏离的情况。

表1-8 化工生产工艺参数偏离的情况

偏 离	塔	罐(容器)	管线	热交换器	泵
流量大			✓		
流量小(无流量)			✓		
液面高	✓	✓			
液面低	✓	✓			
接触面高		✓			
接触面低		✓			
压力高	✓	✓	✓		
压力低	✓	✓	✓		
温度高	✓	✓	✓		
温度低	✓	✓	✓		
浓度高	✓	✓			
浓度低	✓	✓			
流向相反(或错误)			✓		
管子泄漏			✓	✓	
管子破裂			✓	✓	
泄漏	✓	✓	✓	✓	✓
破裂	✓	✓	✓	✓	✓

(2) 分析程序

① 准备工作

a. 确定分析的目的、对象和范围

首先必须明确进行危险性与可操作性研究的目的，确定研究的系统或装置，明确问题的边界、研究的深入程度等。

b. 成立研究小组

开展危险性和可操作性研究需要利用集体的智慧和经验。小组成员以5~7人为佳，小组成员应包括有关的各领域专家、对象系统的设计者等。

c. 获得必要的资料

包括各种设计图纸、流程图、工厂平面图、等比例图和装配图，以及操作指令、设备控制顺序图、逻辑图和计算机程序，有时还需要工厂或设备的操作规程和说明书等。

d. 制定研究计划

首先要估计研究工作需要的时间，根据经验估计每个工艺部分或操作步骤的分析花费的时间，再估计全部研究需花费的时间。然后安排会议和每次会议研究的内容。

② 开展审查

通过会议的形式对工艺的每个部分或每个操作步骤进行审查。会议组织者以各种形式的

提问来启发大家，让大家对可能出现的偏离、偏离的原因、后果及应采取的措施发表意见。具体工作程序如图 1-4 所示。

(3) 实例

图 1-5 为某间歇式化工工艺系统，在运行中利用引射器，须“将 100L C 物质从圆筒(利用引射器)装入总计量罐”。该操作步骤包括两个工艺参数，即从总计量罐中“排出空气”和将一定“流量”物质 C 由圆筒装入总计量罐。分别利用 7 个引导词与这两个工艺参数相结合，设想可能出现的偏离，并研究偏离的原因和结果，得到表 1-9 和表 1-10 的结果。

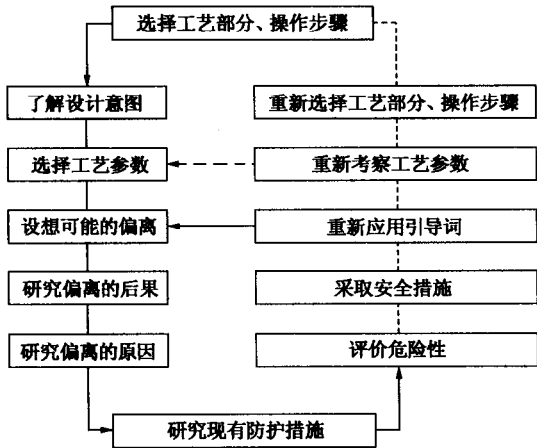


图 1-4 危险性与可操作性工作程序

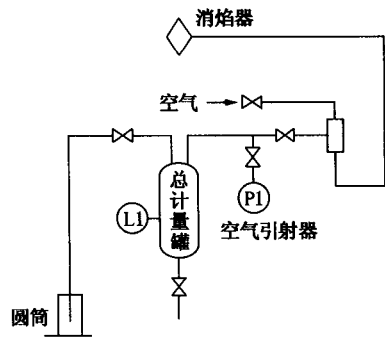


图 1-5 间歇式化工工艺系统(局部)

表 1-9 从总计量罐中排出空气可能出现的偏离

偏离	原因	后果
不排出空气	无空气供应 喷射器故障 阀门关闭	生产过程不方便,但无危害
排出较多空气	使计量罐完全排尽	罐能否承受全真空
排出较少空气	输送圆筒中物质的抽力不够	生产过程不方便,但无危害
也排出空气	由抽出管路从圆筒或总计量罐中将 C 物质或其他物质排出	是否失火危险 是否静电危险 是否腐蚀危险 是否消焰器关闭 物质离开消焰器后是否出现危险? 它们流入何处
排出部分空气	排出的只是氧与氮,不可能	
反向排出空气	如空气喷射器关闭,压缩空气将流入计量罐	是否空气流入圆筒并喷洒出筒中的物质
而不排出空气	计量罐满时开动空气喷射器	经管路流出物质并经消焰器流出,与“也排出空气”危险相同

表 1-10 将一定数量 C 物质装入总计量罐可能出现的偏离

偏离	原因	后果
不装入 C	不得到 C, 阀门关闭	无危险
装入较多 C	装入 100L 以上	如果罐已装满而喷射器开动, C 流入空气喷射器, 危险; 如果装入计量罐过量, 如何安全地将它排出