



普通高等教育“十二五”规划教材

石油化工安全概论

(第二版)

王凯全 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

石油化工安全概论

(第二版)

王凯全 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以系统安全工程为理论基础,概括性地阐述石油化工安全技术工程的基本思想、基本理论、基本方法以及预防事故的基本技术。

全书共分为六章。第一章概括了系统安全科学的基本思想,重点介绍了安全、危险、安全分析、安全法律法规以及 HSE 管理体系的主要内容;第二章介绍石油化工生产的危险性,重点说明火灾、爆炸、毒害等重大事故发生规律及预防措施,阐述事故统计、分析、调查的原则和主要方法;第三章简述石油化工生产工艺及其危险性,重点说明石油化工反应过程、单元操作以及公用系统(供水、供热、供电等)的安全基本知识;第四章在简述石油化工装备类型、特征的基础上,主要介绍机械装备设计、日常管理和维护、检修方面的安全知识,专门介绍安全保护设备、设施的种类、功能和运行要求;第五章介绍了石油化工生产涉及的主要物料(油品、危险化学品等)的危险性质,说明仓储、运输装备和过程的危险性和安全技术,介绍加油站安全要求和技术措施;第六章概述石油化工电气系统,主要介绍电气系统的安全技术,阐述静电、雷电的性质及安全技术,专门说明安全控制系统原理、结构、功能和技术要求。

本书强调整整性和实用性,力争用较少的篇幅,使读者较系统、较清晰地掌握石油化工安全工程与技术的核心和精髓,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. —2 版. —北京:
中国石化出版社, 2011. 8
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1109 - 9

I. ①石… II. ①王… III. ①石油化工厂 - 安全技术 -
基本知识 IV. ①TE687

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 153651 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

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

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 542 千字

2011 年 8 月第 2 版 2011 年 8 月第 3 次印刷

定价:45.00 元

前 言

石油化工产业包括石油炼制和石油化学工业，在我国经济社会快速发展中发挥着关键作用。石化产品作为现代工业和经济发展的主要动力、工业与民用材料的主要原料，已经成为人类生产生活中不可替代的重要资源。石油和化工行业总产值占全国工业总产值的15%左右，是当之无愧的支柱产业和基础产业。大力发展石化产业是我国国民经济发展的长期要求。

安全生产是确保石化产业健康稳定发展的基础。由于石油化工生产的原料和产品绝大多数为易燃、易爆及有毒、有腐蚀性的物质，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，影响了社会的稳定 and 国家的声誉。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。

本书是在多年教学和科研经验的基础上，结合近年来石油化工安全工程技术迅速发展的现状，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。本书以系统安全工程为理论基础，介绍了石油化工重大事故发生规律及预防措施、石油化工反应和单元操作、石油化工装备、石油化工物料储运、石油化工电气系统等的安全技术和管理的知识。在编写过程中，作者力求将化工安全的基本理论和分析方法与石油化工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。

本书曾以《石油化工安全技术》为名在2001年出版，后经2005年修订并更名为《石油化工安全概论》出版。在中国石化出版社的指导下，本次修订调整了作者，使其更具广泛性；充实了内容，使最新的理论研究和实践成果得到展示。本书由常州大学王凯全(第1、2章)、辽宁石油化工大学杨丽娜(第3章)、重庆科技学院王文和(第4章)、常州大学周宁(第5章)、浙江海洋学院张华文(第6章)编写，王凯全统稿。

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。由于作者水平所限，难以跟上石油化工安全工程理论和技术快速发展的步伐，书中存在一些不当之处，敬请专家和读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 安全工程概论	(1)
第一节 安全与危险	(1)
第二节 事故与危险源	(5)
第三节 安全工程	(13)
第四节 系统安全工程	(19)
第五节 系统安全分析	(30)
第六节 安全生产法律法规与管理体系	(45)
第二章 石油化工主要危害	(55)
第一节 危险有害物质泄漏危害	(55)
第二节 燃烧与火灾危害	(68)
第三节 爆炸危害	(85)
第四节 职业卫生危害	(102)
第三章 石油化工工艺安全	(113)
第一节 石油化工工艺及其危险性	(113)
第二节 石油化工常见危险化学品物质	(118)
第三节 反应过程安全	(130)
第四节 单元操作安全	(144)
第五节 公用工程安全	(156)
第四章 石油化工装备安全	(161)
第一节 石油化工装备	(161)
第二节 石油化工装备安全设计	(164)
第三节 石油化工装备安全管理	(181)
第四节 石油化工装备安全检修	(192)
第五节 石油化工安全保护设施	(204)
第五章 石油化工储运安全	(219)
第一节 石油化工物料及其危险性	(219)
第二节 物料仓储系统与安全	(226)
第三节 石化产品输运系统与安全	(236)
第四节 加油、加气站安全	(255)
第六章 石油化工电气安全	(278)
第一节 石油化工电气系统	(278)
第二节 石油化工电气安全	(281)
第三节 静电、雷电及其防护	(307)
第四节 石油化工安全控制系统	(314)
参考文献	(337)

第一章 安全工程概论

安全工程是指在具有人类安全需要的领域，运用的各种安全技术及其综合集成，以保障人体、设施、财产等动态安全的技术、方法、手段、措施等。安全工程的应用，是为了人们在生产和生活中，生命和健康免受危害，设备、财产免遭损失，提供直接和间接的保障。安全工程的发展，就是要不断吸纳、丰富、完善、改进安全工程相关理论和技术，预防和控制各类事故，满足人们在生产、生活领域不断提高的安全需求。

安全工程的应用与发展是人类社会进步和经济发展的必然要求。一方面，生产活动在创造物质财富的同时带来大量不安全的因素，并不断向深度和广度拓展；另一方面，人们在满足了基本生活需求之后，不断追求更安全、更健康、更舒适的生存空间和生产环境。安全工程的艰巨性在于既要不断深入地控制已有的不安全因素，又要预见并控制可能出现的新的不安全因素，以满足人们日益增长的安全需求。

本章概括了系统安全科学的基本思想，重点介绍安全、危险、安全分析、安全法律法规以及 HSE 管理体系的主要内容。

第一节 安全与危险

一、安全

安全是人类生存与发展活动中永恒的主题，也是当今乃至未来人类社会重点关注的重要问题之一。“无危则安、无损则全”。安全一般被认为是不至于对人的身体造成伤害、对精神构成威胁和使财物导致损失的状态。随着对安全问题研究的逐步深入，人们越来越清醒地意识到，“无危则安、无损则全”不是安全的科学定义。这是因为，绝对“无危、无损”的状态只是主观上的理想，任何生产、生活过程都存在一定的危险性；所谓“无危、无损”的状态是个模糊的概念，不能用科学的定量标准来衡量。

最先赋予安全一个较为科学解释的是美国安全工程师学会(ASSE)。在其编写的《安全专业术语辞典》中认为：安全是“导致损伤的危险度是能够容许的、较为不受损害的威胁和损害概率低的通用术语”。著名安全专家 A. 库尔曼在《安全科学导论》中进一步指出：“安全的定义包含着危险和危急所引起的可能的损害不会发生的可信程度”。日本著名安全专家井上威恭指出：“安全系指判明的危险性不超过允许的限度。”

总之，安全是在生产、生活系统中，能将人员伤亡或财产损失的概率和严重度控制在可接受的水平状态。科学的安全概念具有三层含义：

(1) 安全是相对的和动态的。世界上任何系统都包含有不安全的因素，都具有一定的危险性，没有任何系统是绝对安全的。“安全”的系统并不意味着已经杜绝了事故和损失，而是指事故发生的可能性相对较小，事故损失的严重性相对较低。现实中的安全系统不可能是“零事故”的极端状态，人们应该不断克服系统中的危险因素，不断追求相对“更高的安全程度”的安全目标。

(2) 安全是主观和客观的统一。安全反映了人们对系统中客观存在的危险性的主观认识和容忍程度。作为客观存在,系统危险因素引发的事故何时、何地、以何种程度发生,会造成何种恶果,人们不可能完全准确地预料,但是可以通过研究事故发生的条件和统计规律来不断深化对系统危险性及事故规律性的认识;作为对客观存在的主观认识,安全表达了人们内心对客观危险的承受能力,事故发生频率和损害程度提高或(和)人们内心对事故的容忍程度降低都会产生不安全的感。

(3) 安全需要以定量分析为基础。安全的定量分析涉及三个重要指标,即:系统事故发生的概率、事故损失的严重度、可接受的危险水平。为了认识系统的危险,人们必须在确定系统事故发生的概率及其损失的严重度的基础上,与可接受的危险水平相比较;为了实现系统安全,人们需要有针对性、有重点地借助预防措施来降低事故概率,通过控制手段来减少事故损失。

二、安全与危险

1. 危险

危险是安全的对立状态。危险是指在生产、生活系统中一种潜在的,致使人员伤亡或财产损失的不幸事件(即事故)发生的概率及其严重度超出可接受水平的状态。危险的概率是指危险转变为事故的可能性即频度或单位时间危险发生的次数。危险的严重度或伤害、损失或危害的程度则是指危险发生后导致的伤害程度或损失大小。

2. 安全与危险的关系

危险性是衡量系统危险程度的客观量。相应地,安全性反映了系统的安全程度,是衡量系统安全程度的客观量。假定系统的安全性为 S , 危险性为 R , 则有:

$$S = 1 - R \quad (1-1)$$

显然, R 越小, S 越大; 反之亦然。若在一定程度上消灭了危险性, 就等于创造了安全。当危险性小到可以被接受的水平时, 就认为系统是安全的。

安全性与危险性的关系可以参照图 1-1 来说明。其中, 左右两端的圆分别表示系统处于绝对危险和绝对安全的状态。任何实际系统总是处于两者之间, 包含一定的危险性和一定的安全性, 可以用介于左右两圆中的一条垂线表示, 垂线的上半段表示其安全性, 下半段表示其危险性。当实际系统处于“可接受的安全水平”线(图中虚线)的右侧时, 人们认为这样的系统是安全的。

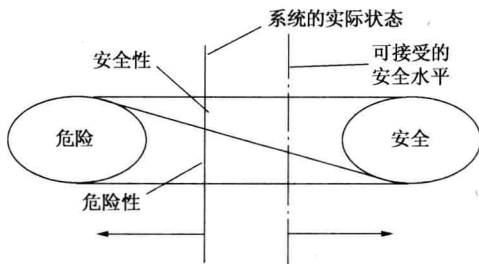


图 1-1 安全与危险

我们在安全问题上面临的矛盾是: 一方面, 生产活动在创造物质财富的同时带来大量不安全不卫生的危险因素, 并不断向深度和广度拓展, 科技进步带来了火灾、爆炸、毒物泄

漏、空难、原子辐射、大气污染等事故可能性和严重度的增加,在图 1-1 上表现为系统的实际状态有向左移动的趋势;另一方面,人们在满足了基本生活需求之后,不断追求更安全、更健康、更舒适的生存空间和生产环境,在图 1-1 上表现为可接受的安全水平有向右移动的趋势。

危险因素的绝对增涨和人们对各类灾害在心理、身体上承受能力的绝对降低的矛盾是人类进步的基本特征和必然趋势,使人类对安全目标的向往和努力具有永恒的生命力。在这对矛盾之中,后者是人类进步的表现,无可厚非;因而前者是安全工作者要认真研究的主要矛盾方面。安全工作的艰巨性在于既要不断地控制已有的危险因素,又要预见并控制可能和正在出现的各种新的危险因素,以满足人们日益增长的安全需求。安全工作者必须勇敢地承担起这个艰巨的不容推卸的社会责任。

三、安全与风险

1. 风险

风险也是安全的对立状态。与危险相比,风险还含有系统不稳定、不确定的意思,因此内涵更加宽泛。针对人们对系统的认识程度和观察角度,风险被理解为:

(1) 风险是描述系统危险性的客观量

当系统的可知性和可控性较强时,人们认为风险是不幸事件将要发生,且后果可以预见的状态。根据国际标准化组织的定义(ISO 13702—1999),风险是衡量危险性的指标,风险是某一有害事故发生的可能性与事故后果的组合。生产系统中的危险,是安全工程的主要研究对象,而生产系统是具有较强可知性和可控性的人为系统。因此对于安全工程领域和工业生产系统,风险与危险性是相同的概念,风险是系统危险性的客观量。

(2) 风险是损失的不确定性

当系统的可知性和可控性较弱时,人们认为风险是不幸事件发生不确定,发生后出现何种损失事先难以预知的状态。美国学者威特雷认为,风险是关于不愿意发生的事件发生的不确定的客观体现。具体地说,即风险是客观存在的现象,风险的本质与核心具有不确定性,风险事件是人们主观所不愿发生的。社会、经济系统是可知性和可控性较弱的自在系统,其风险更多地被理解为损失的不确定性。

以上两种风险概念的共同点在于:都将风险看成是可能发生,且可能造成损失后果的状态。对于只可能带来损失而不可能获利的风险,称为纯粹风险。

(3) 风险是危险和机遇伴生的状态

与纯粹风险相对应的是投机风险。投机风险是指既可能产生收益也可能造成损失的不确定性。经济系统的某些风险,其结果的不确定性可能波及的范围大到损失和获利之间,以致危险和机遇并存,如投资、炒股、购买期货等。

安全工程对风险采取第一种认识,即风险是描述系统危险性的客观量。这是因为,一方面,生产系统是为人为设计的,其危险性可以通过理论和实践的辨识、分析定量描述;另一方面,生产系统的危险性只存在造成事故损失结果的可能性,通常只能是纯粹风险。

但是在生产实践中,人们受到系统多维性、动态性、复杂性的影响以及自身能力的限制,往往难以准确定量系统风险,这就需要不断通过理论的、实验的、技术的、经验的等手段提高对风险的认知能力。在生产实践中,风险也可能出现投机性质。比如:为预防和控制事故所付出的安全投入,是用实在的资金支出换取事故发生概率的降低,具有节省支出也可

能不出事故的性质；违章操作具有发生事故的危险和作业便捷的诱惑。为了防止生产过程中的事故，必须努力防止和杜绝风险的投机性质。例如，落实安全投入相关法律法规，开展企业安全设施审查，设计本质安全条件，提高违章成本等。

2. 风险的定量描述

根据对风险的第一种认识，风险 R 的大小，可以用不幸事件发生的概率 P 和事件后果的严重程度 C 两个客观量的逻辑乘积来评价，即

$$R = P \otimes C \quad (1-2)$$

在安全工程领域，人们认识风险和管理风险的目的就是限制系统中客观存在的各种潜在的危险因素，使之趋于极小化，以提高系统的安全性。具体而言，就是要降低不幸事件发生的概率，控制其可能造成的恶果。

3. 风险矩阵和风险矩阵图

由于不幸事件发生的概率 P 和事件后果的严重程度 C 属于不同的物理量，因此不能以两者乘积的直接结果来评估系统的风险。人们通常采用风险矩阵和风险矩阵图来表达风险的大小。

(1) 风险矩阵

风险矩阵通常以严重度 C 为行，概率 P 为列构成。兼顾两者的大小确定风险的等级。典型的风险矩阵如表 1-1 所示。

表 1-1 风险矩阵

危险概率等级		风险分类			
定量	定性				
$y \times 10^{-2}$ /年	频繁	无法容忍			
$y \times 10^{-3}$ /年	很可能				
$y \times 10^{-4}$ /年	偶然	不合需要			
$y \times 10^{-5}$ /年	远期				
$y \times 10^{-6}$ /年	不太可能	可以容忍			
$y \times 10^{-7}$ /年	难以置信				
x, y 系数可根据应用需要调整		可以忽略			
		灾难	紧急	边缘	无关紧要
		$x \times 10^{-1}$	$x \times 10^{-2}$	$x \times 10^{-3}$	$x \times 10^{-4}$
危险严重程度等级					

(2) 风险矩阵图

风险矩阵图是一种有效的风险管理工具，可用于分析系统风险的大小和分布。通常以严重度 C 为横轴，概率为 P 纵轴，建立直角坐标系来表达风险的大小。由于风险严重度 C 和概率 P 都具有不确定性，因此在风险矩阵图上，通常以区块表示风险的具体位置，并由大到小分别涂以红色、橘红色、黄色、绿色区块。

显然，距离原点较远的区块风险值较大。根据风险是安全的对立状态的定义，在风险矩阵图上可按照距原点的距离划分出风险可接受区、ALARP(As Low As Reasonable Practical 安全风险处在最低合理可行状态)区以及风险不可容忍区，并以此确定风险的对策措施。

典型的风险矩阵图如图 1-2 所示。

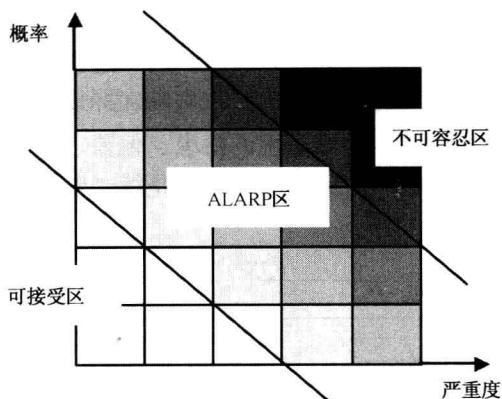


图 1-2 风险矩阵图

第二节 事故与危险源

一、事故

1. 事故的概念

事故是指在生产活动中，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。事故的发生，可能迫使系统暂时或较长期的中断运行，也可能造成人员伤亡和财产损失（又可称为损伤），或者二者同时出现。

事故的含义包括：

（1）事故是一种发生在人类生产、生活中的特殊事件，由于任何系统都存在一定的危险性，因此人类的任何生产、生活过程中都可能发生事故。

（2）事故是一种迫使进行着的生产、生活活动暂时或永久停止的事件。事故中断、终止人们正常活动的进行，必然给人们的生产、生活带来某种形式的影响，甚至还可能造成人员伤亡、财物损坏或环境污染等其他形式的严重后果。因此，事故是一种违背人们意志的事件，是人们不希望发生的事件。

（3）事故是一种突然发生的、出乎人们意料的意外事件。由于导致事故发生的原因非常复杂，往往包括许多偶然因素，因而在一起事故发生之前，人们无法准确地预测事故发生的时间、地点、严重程度等。因此，人们在开展生产、生活活动之前和过程中，都应该做好预防和应对事故的物质和精神准备。

（4）事故是一系列事件序列。事故由事故隐患、故障、偏差、事故、事故后果等一系列互为因果的事件构成。通常人们只把发生了严重后果的事故当成事故看待，进行原因分析、后果控制，而轻视对一般事故、未遂事故的隐患的查找和事故预防，这不但在认识上是错误的，对事故的预防也是不利的。之所以产生这种认识，是因为事故的后果，特别是引起严重伤害或损失的事故后果，给人的印象非常深刻，相应地注意了带来某种严重后果的事故；相反地，当事故带来的后果非常轻微，没有引起人们注意的时候，人们也就忽略了事故。

2. 事故的特征

事故一般具有如下特性：

(1) 因果性

事故的因果性是说一切事故的发生都是有其原因的, 这些原因就是潜伏的危险因素。这些危险因素有的来自人的安全行为和管理缺陷, 也有物和环境的不安全状态。这些危险因素在一定的时间和空间内相互作用就会导致系统的隐患、偏差、故障、失效, 以至发生事故。

因果关系表现为继承性, 即第一阶段的结果可能是第二阶段的原因, 第二阶段的原因又可能引起第二阶段的结果。见图 1-3。

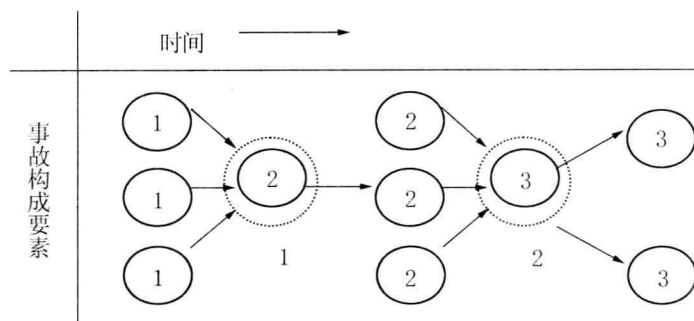


图 1-3 事故的因果关系

因果性说明事故的原因是多层次的。有的原因与事故有直接联系, 有的则有间接联系, 绝不是某一个原因就可能造成事故, 而是诸多不利因素相互作用促成事故。因此, 不能把事故原因归结为一时或一事, 而应在识别危险时对所有的潜在因素(包括直接的、间接的和更深层次的因素)都进行分析。只有充分认识了所有这些潜在因素的发展规律, 分清主次地对其加以控制和消除, 才能有效的预防事故。

事故的因果性还表现在事故从其酝酿到发生发展具有一个演化的过程。事故发生之前总会出现一些可以被人类认识的征兆, 人类正是通过识别这些事故征兆来辨识事故的发展进程, 控制事故, 化险为夷。事故征兆是事故爆发的量的积累, 表现为系统的隐患、偏差、故障、失效等, 这些量的积累是系统突发事件和事故后果的原因。认识事故发展过程的因果性既有利于预防事故, 也有利于控制事故后果。

(2) 随机性

事故的随机性是指事故的发生是偶然的。随着时间的进程, 同样的前因事件导致的后果不一定完全相同。但是在偶然的事故中孕育着必然性, 必然性通过偶然事件表现出来。

事故的随机性说明事故的发生服从于统计规律, 可用数理统计的方法对事故进行分析, 从中找出事故发生、发展的规律, 认识事故, 为预防事故提供依据。

事故的随机性还说明事故具有必然性。从理论上说, 若生产中存在着危险因素, 只要时间足够长, 样本足够多, 作为随机事件的事故迟早必然会发生, 事故总是难以避免的。但是安全工作者对此不是无能为力, 而是可以通过科学客观的分析, 从随机发生的事故中发现其规律, 通过持续不懈的努力, 使系统的安全状态不断改善, 使事故发生的概率不断降低, 使事故后果严重度不断减弱。

(3) 潜伏性

事故的潜伏性是说事故在尚未发生或还没有造成后果之时, 各种事故征兆是被掩盖的。系统似乎处于“正常”和“平静”状态。

事故的潜伏性使得人们认识事故、弄清事故发生的可能性及预防事故成为一项非常困难的事情。这就要求人们必须百倍珍惜已发生的事故, 探索和总结事故规律, 从中汲取经验教

训；要求人们在任何情况下都要把安全放在第一位，消除盲目性和麻痹思想，居安思危，明察秋毫，才能做到常备不懈，防患未然。

3. 事故分类

生产安全事故按事故造成的后果可以分为：人身伤亡事故和非人身伤亡事故；按事故发生的原因可以分为：责任事故和非责任事故。事故的损失还可分为直接经济损失和间接经济损失。

(1) 人身伤亡事故严重度分类

按伤害严重程度把伤亡事故分为：

- ① 轻伤事故。只发生轻伤的事故；
- ② 重伤事故。发生了重伤但是没有死亡的事故；
- ③ 死亡事故。发生了死亡的事故。

按照目前的划分标准，死亡事故按伤亡人数的多少又可分为：

- ① 一般伤亡事故：指一次死亡 1~2 人(多人事故时包括轻伤和重伤)的事故；
- ② 重大伤亡事故：指一次死亡 3~9 人的事故；
- ③ 特大伤亡事故：指一次死亡 10 人以上的事故。

(2) 人身伤亡事故原因分类

按致伤原因把伤亡事故分为 20 类，见表 1-2。

表 1-2 按致伤原因的事故分类

序号	事故类别	备 注
1	物体打击	指落物、滚石、锤击、碎裂、崩块、砸伤，不包括爆炸引起的物体打击
2	车辆伤害	包括挤、压、撞、颠覆等
3	机械伤害	包括绞、碾、割、戳
4	起重伤害	
5	触电	包括雷击
6	淹溺	
7	灼烫	
8	火灾	
9	高空坠落	包括由高处落地和由平地落入地坑
10	坍塌	
11	冒顶片帮	
12	透水	
13	放炮	
14	火药爆炸	生产、运输和储藏过程中的意外爆炸
15	瓦斯爆炸	包括煤尘爆炸
16	锅炉爆炸	
17	压力容器爆炸	
18	其他爆炸	
19	中毒和窒息	
20	其他	

(3) 非人身伤亡事故分类

非人身伤亡事故是指未造成人身伤亡的设备事故或其他事故。非人身伤亡事故一般按事故损失分类。

(4) 责任事故和非责任事故分类

责任事故是指由于管理人员或操作人员在工作中人为失误因素造成的事故。非责任事故是指生产工艺或装备的固有原因以及自然原因、环境原因等非人为因素造成的事故。由于发生在生产系统中的事故总是与人为失误因素有一定联系,因此,生产中的事故,通常都是责任事故。

根据对事故影响的作用不同,可以确定事故的直接责任者、领导责任者和主要责任者。直接责任者系指其行为与事故的发生有直接关系的人,领导责任者系指对事故的发生负有领导责任的人,主要责任者系指在直接责任者和领导责任者中,对事故的发生起主要作用的人。

(5) 事故的经济损失

事故损失除了可以分为直接损失和间接损失之外,还可以:

① 按损失的经济特征分类

分为经济损失(或价值损失)和非经济损失(非价值损失)。前者指可直接用货币测算的损失,后者指不可直接用货币测算,只能通过间接的转换技术对其进行测算的损失。

② 按损失与事故的关系和经济的特性进行综合分类

分为直接经济损失、间接经济损失、直接非经济损失、间接非经济损失4种。这种分类方法把事故损失的统计口径做了严格的限定,有助于准确地对事故损失进行测算。

③ 按损失的承担者分类

分为个人损失、企业(集体)损失和国家损失。

④ 按损失的时间分类

分为当时损失、事后损失和未来损失。当时损失是指事件发生时造成的损失;事后损失是指事件发生后随即伴随的损失,如事故处理、赔偿、停工和停产等的损失;未来损失是指事件发生后相隔一段时间才会显现出来的损失,如污染造成的损失、恢复生产和原有的技术功能所需的设备(设施)、改造及人员培训费用等。

4. 事故的概率与严重度

预防事故发生和控制事故的后果是安全工程的两项主要任务。

(1) 事故发生的概率

事故发生的概率是时间长度或样本个数趋近无限大的情况下,系统发生事故的时间与系统正常工作时间的比值,或系统发生事故的次数与系统正常工作次数的比值。

事故发生的概率可以下式得到:

$$P = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_d}{N} \quad (1-3)$$

或

$$P = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{N_d}{N} \quad (1-4)$$

式中 P ——事故发生的概率;

N_d ——系统发生事故的次数;

N ——系统正常工作的次数;

t ——系统工作时间;

n ——同类系统样本数量。

式(1-3)可称为事故的时间概率,式(1-4)可称为事故的样本概率。由于在实践中,时间或样本都不可能无限大,人们通常近似地将事故发生的频率指标作为事故发生的概率值。

(2) 事故后果的严重度

事故后果严重度是事故发生后其后果带来的损失大小的度量。事故后果带来的损失包括人员生命健康方面的损失、财产损失、生产损失或环境方面的损失等可见损失,以及受伤害者本人、亲友、同事等遭受的心理冲击,事故造成的不良社会影响等无形的损失。由于无形的损失主要取决于可见损失,因此事故后果严重度也可以用可见损失的大小来相对比较。通常,以伤害的严重程度来描述人员生命健康方面的损失;以损失价值的金额数来表示事故造成的财物损失或生产损失。

(3) 事故发生的概率与后果严重度的关系

美国的海因里希(W. H. Heinrich)早在20世纪30年代就研究了事故发生概率与事故后果严重度之间的关系。根据对调查结果的统计处理得出结论,同一个人发生的330起同种事故中,300起事故没有造成伤害,29起造成了轻微伤害,1起造成了严重伤害。即:事故后果分别为严重伤害、轻微伤害和无伤害的事故次数之比为1:29:300(图1-4)。

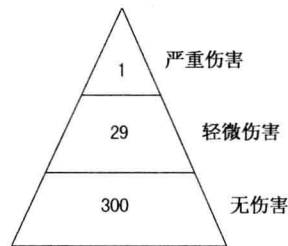


图1-4 海因里希事故三角形

比例1:29:300被称为海因里希法则,它反映了事故发生频率与事故后果严重度之间的一般规律。即,事故发生后带来严重伤害的情况是很少的,造成轻微伤害的情况稍多,而事故后无伤害(被称为未遂事故)的情况是大量的。

海因里希法则提醒人们,某人在遭受严重伤害之前,可能已经经历了数百次没有带来严重伤害的未遂事故。在无伤害或轻微伤害的背后,隐藏着与造成严重伤害相同的原因。在事故预防工作中,应十分重视从未遂事故中探究事故规律,在发生轻微伤害或无伤害事故时就分析其发生原因,尽早采取恰当对策防止事故发生,而不是在发生了严重伤害之后才追究其原因,采取改进措施。

二、能量的危险性

1. 能量及其危害

任何生产过程都是能量的转化或做功的过程。近代工业的发展起源于将燃料的化学能转变为热能,并以水为介质转变为蒸汽,然后将蒸汽的热能转变为机械能输送到生产现场。这就是蒸汽机动力系统的能量转换情况。电气时代是将水的势能或蒸汽的动能转换为电能,在生产现场再将电能转变为机械能进行产品的制造加工。核电站则是用原子能转变为电能的。

任何失去控制的能量的转化和做功的过程都可能引起事故,造成伤害或损坏。

(1) 机械能。意外释放的机械能是造成人员伤害或财物损坏的主要类型的能量。机械能包括势能和动能。位于高处的人体、物体、岩体或结构的一部分相对于低处的基准面有较高的势能。当人体具有的势能意外释放时,发生坠落事故;物体具有的势能意外释放时,物体自高处落下可能发生物体打击事故;岩体或结构的一部分具有的势能意外释放时,发生冒

顶、片帮、坍塌等事故。运动着的物体都具有动能，如各种运动中的车辆、设备或机械的运动部件、被抛掷的物料等。它们具有的动能意外释放并作用于人体，则可能发生车辆伤害、机械伤害、物体打击等事故。

(2) 电能。意外释放的电能会造成各种电气事故。意外释放的电能可能使电气设备的金属外壳等导体带电而发生所谓的“漏电”现象。当人体与带电体接触时会遭受电击；电火花会引燃易燃易爆物质而发生火灾、爆炸事故；强烈的电弧可能灼伤人体等。

(3) 热能。现今的生产、生活中到处利用热能，人类利用热能的历史可以追溯到远古时代。失去控制的热能可能灼烫人体、损坏财物、引起火灾。火灾是热能意外释放造成的最典型的事故。应该注意，在利用机械能、电能、化学能等其他形式的能量时也可能产生热能。

(4) 化学能。化学能的危险性主要表现为危险物质的毒性、可燃性和可爆性。有毒有害的化学物质使人员中毒，是化学能引起的典型伤害事故。化学能会导致人员急性、慢性中毒，致病、致畸、致癌。火灾中化学能转变为热能，爆炸中化学能转变为机械能和热能。

(5) 电离及非电离辐射。电离辐射主要指 α 射线、 β 射线和中子射线等，它们会造成人体急性、慢性损伤。非电离辐射主要为X射线、 γ 射线、紫外线、红外线和宇宙射线等射线辐射。工业生产中常见的电焊、熔炉等高温热源放出的紫外线、红外线等有害辐射会伤害人的视觉器官。

表1-3 为人体受到超过其承受能力的各种形式能量作用时受伤害的情况。

表1-3 能量类型与伤害

能量类型	产生的伤害	事故类型
机械能	刺伤、割伤、撕裂、挤压皮肤和肌肉、骨折、内部器官损伤	物体打击、车辆伤害、机械伤害、起重伤害、高处坠落、坍塌、冒顶片帮、放炮、火药爆炸、瓦斯爆炸、锅炉爆炸、压力容器爆炸
热能	皮肤发炎、烧伤、烧焦、炭化、伤及全身	灼烫、火灾
电能	干扰神经-肌肉功能、电伤	触电
化学能	化学性皮炎、化学性烧伤、致癌、致遗传突变、致畸胎、急性中毒、窒息	中毒和窒息、火灾
电离辐射	细胞和亚细胞成分与功能的破坏	反应堆事故中，治疗性与诊断性照射，滥用同位素、放射性粉尘的作用，具体伤害结果取决于辐射作用部位和方式

2. 能量意外释放与事故

1961年吉布森(Gibson)、1966年哈登(Haddon)等人提出了解释事故发生物理本质的能量意外释放论。他们认为，如果由于某种原因失去了对能量的控制，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。如果事故时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。

札别塔基斯(Michael Zabetakis)依据能量意外释放理论建立了事故因果连锁模型(图1-5)。指出几乎毫无例外地过量能量或危险物质的释放都是由于人的不安全行为或物的不安全状态造成的。防止伤害事故就是防止能量意外释放，防止人体(或需要保护的财产、设备等物质)接触能量。根据这种理论，预防事故可以从两方面考虑：一是控制生产过程中不

同形式能量的流动、转换以及相互作用,防止发生能量的意外释放或逸出;二是采取于人体(或需要保护的财产、设备等物质)的屏蔽措施,防止其与过量的能量或危险物质接触。

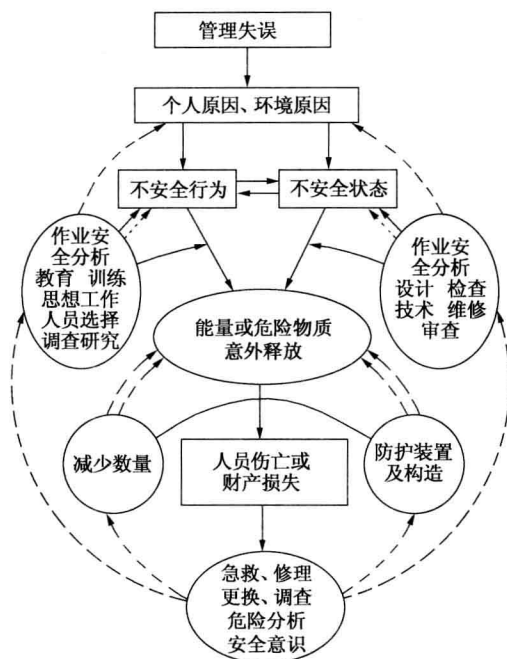


图 1-5 能量观点的事故因果连锁

三、事故与危险源

危险源即危险的根源,是可能导致人员伤害或财物损失事故的,潜在的不安全因素,生产、生活中的许多不安全因素都是危险源。事故(特别是石化生产过程中的事故)就是这些危险源的发展变化和相互作用,使能量发生了意外释放而造成的。危险源的存在是事故发生的根本原因,防止事故就是消除、控制系统中的危险源。

根据危险源在事故发生、发展中的作用,可以划分为两大类。

1. 第一类危险源

根据能量意外释放论,事故是能量或危险物质的意外释放,作用于人体的过量的能量或干扰人体与外界能量交换的危险物质是造成人员伤害的直接原因。于是,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。

一般地,能量被解释为物体做功的本领。做功的本领是无形的,只有在做功时才显现出来。因此,实际工作中往往把产生能量的能量源或拥有能量的能量载体作为第一类危险源来处理。例如,带电的导体、奔驰的车辆等。

可以列举常见的第一类危险源如下:

- (1) 产生、供给能量的装置、设备;
- (2) 使人体或物体具有较高势能的装置、设备、场所;
- (3) 能量载体;
- (4) 一旦失控可能产生巨大能量的装置、设备、场所,如强烈放热反应的化工装置等;
- (5) 一旦失控可能发生能量蓄积或突然释放的装置、设备、场所,如各种压力容器等;

- (6) 危险物质, 如各种有毒、有害、可燃烧爆炸的物质等;
- (7) 生产、加工、储存危险物质的装置、设备、场所;
- (8) 人体一旦与之接触将导致人体能量意外释放的物体。

第一类危险源具有的能量越多, 一旦发生事故其后果越严重。相反, 第一类危险源处于低能量状态时比较安全。

2. 第二类危险源

在生产生活中, 为了利用能量, 让能量按照人们的意图在系统中流动、转换和做功, 必须采取各种约束、限制措施可靠地控制能量, 防止能量意外释放。实际上, 绝对可靠的控制措施并不存在, 在许多因素的复杂作用下约束、限制能量的控制措施可能失效, 能量屏蔽可能被破坏而发生事故。导致约束、限制能量措施失效或破坏的各种不安全因素称作第二类危险源。这些不安全因素来自人、物、环境三个方面。

人的因素主要表现为人的不安全行为。人失误是指人的行为的结果偏离了预定的标准, 而人的不安全行为是可能直接破坏对第一类危险源的控制, 造成能量或危险物质的意外释放的失误, 是人失误的特例。例如, 合错了开关使检修中的线路带电; 误开阀门使有害气体泄放等。人失误也可能造成物的故障, 物的故障进而导致事故。例如, 超载起吊重物造成钢丝绳断裂, 发生重物坠落事故。

物的因素问题可以概括为物的故障。故障是指由于性能低下不能实现预定功能的现象, 物的不安全状态也可以看作是一种故障状态。物的故障可能直接使约束、限制能量或危险物质的措施失效而发生事故。例如, 电线绝缘损坏发生漏电; 管路破裂使其中的有毒有害介质泄漏等。有时一种物的故障可能导致另一种物的故障, 最终造成能量或危险物质的意外释放。例如, 压力容器的泄压装置故障, 使容器内部介质压力上升, 最终导致容器破裂。物的故障有时会诱发人的不安全行为; 人的不安全行为会造成物的故障, 实际情况比较复杂。

环境因素问题主要指系统运行的环境, 包括温度、湿度、照明、粉尘、通风换气、噪声和振动等不良的物理环境, 以及不良的企业和社会的软环境。不良的物理环境会引起物的故障或人的不安全行为。例如, 潮湿的环境会加速金属腐蚀而降低结构或容器的强度; 工作场所强烈的噪声影响人的情绪, 分散人的注意力而发生不安全行为。不良的企业管理制度、人际关系或社会环境影响人的心理, 可能引起不安全行为。

3. 危险源与事故

一起事故的发生是两类危险源共同起作用的结果。第一类危险源的存在是事故发生的前提, 没有第一类危险源就谈不上能量或危险物质的意外释放, 也就无所谓事故。另一方面, 如果没有第二类危险源破坏对第一类危险源的控制, 也不会发生能量或危险物质的意外释放。第二类危险源的出现是第一类危险源导致事故的必要条件。

在事故的发生、发展过程中, 两类危险源相互依存、相辅相成。第一类危险源在事故发生时释放出的能量是导致人员伤害或财物损坏的能量主体, 决定事故后果的严重程度; 第二类危险源出现的难易决定事故发生的可能性的。大小。两类危险源共同决定危险源的危险性。图 1-6 为系统安全观点的事故因果连锁。

对于一个具体的石化生产系统而言, 第一类危险源客观上已经存在并且在设计、建造时已经采取了必要的控制措施, 其数量和状态通常难以改变, 而第二类危险源却处于动态的变化之中, 因此安全生产管理和事故预防工作的重点是控制第二类危险源。