



普通高等教育“十三五”规划教材——化工安全系列



化工安全导论

HUAGONG ANQUAN DAOLUN

主 编 毕海普

副主编 袁雄军 刘龙飞

主 审 王凯全



中国石化出版社

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

“十三五”规划教材——化工安全系列

化工安全导论

主 编 毕海普
副主编 袁雄军 刘龙飞
主 审 王凯全

中国石化出版社

内 容 提 要

本书为“普通高等教育‘十三五’规划教材——化工安全系列”之一，以系统安全工程为理论基础，应用“4M”事故预防和控制措施，分别从事故系统中人的不安全行为、物的不安全状态、不良环境和管理欠缺等四个方面，概括性地阐述化工安全技术与工程的基本思想、基本理论、基本方法以及事故预防的基本方法。全书共六章，分别介绍安全与系统安全、事故预防与控制及化工作业和行为安全、化工工艺和设施安全、化工条件和环境安全和化工安全管理。

本书强调完整性和实用性，力争用较少的篇幅，使读者较系统地、较清晰地掌握化工安全技术与工程的核心和精髓。

本书可供化工类高等院校师生学习使用，也可供从事化工安全技术及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工安全导论 / 毕海普主编. —北京: 中国石化出版社, 2019. 1
普通高等教育“十三五”规划教材·化工安全系列
ISBN 978-7-5114-5118-7

I. ①化… II. ①华… III. ①化学工业-高等学校-教材 IV. ①TQ086

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 285301 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: 北京市朝阳区吉市口路 9 号
邮编: 100020 电话: (010) 59964500
发行部电话: (010) 59964526
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail: press@sinopec.com
北京柏力行彩印有限公司印刷
全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 14 印张 313 千字
2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷
定价: 45.00 元

《普通高等教育“十三五”规划教材 ——化工安全系列》编委会

主 任：王凯全（常州大学）

委 员（按姓氏笔画为序）：

李少香（青岛科技大学）

李 伟（东北石油大学）

杨保平（兰州理工大学）

陈海群（常州大学）

修光利（华东理工大学）

柴 文（常熟理工学院）



前 言

化学品已广泛应用于工农业生产和居民日常生活，对于发展社会生产力、提高人民生活质量起到了不可替代的作用。化学工业在我国国民经济中占有重要的战略地位，是国家基础产业和支柱产业，既以其技术和产品服务于其他工业，同时也制约其他工业的发展。安全生产是确保化工产业健康稳定发展的基础。由于化工生产的原料和产品大多数为易燃、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，一旦发生事故，后果将极其严重。因此，安全问题在化工生产过程中占据着非常重要的位置。

化工安全导论围绕化工过程安全问题，将安全工程的基本理论和技术方法应用于化工生产，系统介绍安全工程与技术知识、事故预防和控制理论、现代安全管理的基本原则和内容；详细阐述典型化工单元和作业、典型化工工艺和设施、典型化工条件和环境的危险性分析，以及化工安全管理和事故防控方法；力求充分反映化工生产过程中涉及化学化工安全方面的基本知识，对在有限时间内了解和认识化工安全常识、增强化工安全意识、提高化工生产安全水平、保障自身和他人安全、促进社会和谐发展具有一定意义。

本书是在多年教学和科研经验的基础上，结合近年来化工安全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，基于“4M”要素在事故的发生发展中的作用和关联关系，分别介绍了化工作业和行为安全、化工工艺和设施安全、化工条件和环境安全、化工安全管理措施的事故预防与控制方法。在编写过程中，笔者力求将化工安全的基本理论和分析方法与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，各章主要内容之后均安排了相应的事故案例分析。

本书由常州大学毕海普(第一章、第二章、第三章、第四章)、袁雄军(第六章);常熟理工学院刘龙飞(第五章)等编写,常州大学邵辉教授和邵小晗老师也参与部分章节的编写工作,王凯全承担全书统稿。在本书编写过程中,笔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,难以跟上化工安全工程理论和技术快速发展的步伐,书中难免存在一些不当之处,敬请专家、读者批评指正。



目 录

第一章 安全与系统安全	(1)	第二章 事故预防与控制	(39)
第一节 安全与危险	(1)	第一节 化工生产事故类型	(39)
一、安全	(1)	一、火灾爆炸事故	(39)
二、危险	(2)	二、设备事故	(40)
三、事故	(3)	三、生产事故	(41)
四、事故与危险源	(7)	四、交通事故	(41)
第二节 系统与系统安全工程	(8)	五、放射事故	(42)
一、系统安全	(8)	六、人身伤亡事故	(42)
二、系统安全工程	(10)	第二节 事故致因理论	(42)
三、系统安全工程的时间维度	(13)	一、事故致因理论的发展	(42)
四、系统安全工程的空间维度	(15)	二、几种有代表性的事故致因理论	(45)
第三节 系统安全分析技术	(19)	第三节 事故预防和控制	(55)
一、系统安全分析概述	(19)	一、变化是事故发展的关键因素	(56)
二、安全检查表(Safty checklist)	(20)	二、描述事故发展过程的作用	
三、预先危险性分析(PHA)	(22)	连锁模型	(57)
四、故障类型和影响分析(FMEA)	(23)	三、化工事故的控制	(58)
五、危险与可操作性分析(HAZOP)	(25)	四、“4M”事故预防和控制措施	(61)
六、事件树分析(ETA)	(28)	第四节 事故防范案例	(62)
七、事故树分析(FTA)	(29)	一、火灾爆炸化工生产事故	(62)
第四节 系统安全事故案例	(35)	二、因果连锁爆炸事故	(63)
一、系统重大危险源控制不当		三、防控管理不当导致中毒事故	(65)
发生爆炸事故	(35)	第三章 化工作业和行为安全	(67)
二、系统危险性分析缺失发生		第一节 安全心理和行为	(67)
毒物泄漏事故	(36)	一、安全心理	(67)
三、系统危险因素时空耦合发生		二、不安全行为	(68)
连锁事故	(37)	三、安全心理与行为的协调	(70)
		第二节 安全教育与培训	(71)

一、安全教育培训的特点	(71)	十三、磺化工艺	(119)
二、安全教育培训的需求分析		十四、聚合工艺	(119)
.....	(74)	十五、烷基化工艺	(120)
三、安全教育培训的计划制订		十六、新型煤化工工艺	(120)
.....	(76)	十七、电石生产工艺	(121)
四、安全教育培训内容	(79)	十八、偶氮化工艺	(122)
五、安全教育培训的实施与管理		第三节 化工设备设施安全	(122)
.....	(82)	一、设备的类型及操作方式	(122)
第三节 化工作业安全	(84)	二、设备的危险性	(126)
一、化工生产危险等级	(84)	三、反应器安全运行的基本要求	
二、化工反应危险及其安全措施 .....		.....	( 127)
.....	(86)	四、釜式反应器的选择与安全运行	
三、单元操作危险及其安全措施 .....		.....	( 127)
.....	(91)	第四节 化工安全保护设施	(129)
第四节 化工违章事故案例	(98)	一、安全保护装置种类及设置原则	
一、心理和行为不当导致中毒事故 .....		.....	( 129)
.....	(98)	二、安全泄放装置	(130)
二、安全培训和教育不力导致		三、安全联锁装置	(137)
爆炸事故	(99)	四、紧急停车装置	(138)
三、化工作业爆炸安全事故	(99)	五、其他安全保护设施	(141)
第四章 化工工艺和设施安全	(101)	第五节 化工设备事故案例	(143)
第一节 化工储运安全	(101)	一、化工储运罐车爆炸事故	(143)
一、危险化学物质的分类	(101)	二、化工工艺中泄漏火灾事故	
二、储运过程	(104 )	.....	( 144)
三、储运设备	(105)	三、化工设备设施特大爆炸事故	
第二节 化工工艺安全	(111 )	.....	( 145)
一、光气及光气化工艺	(111)	四、化工安全保护设施不力导致	
二、电解工艺(氯碱)	(111)	爆炸事故	(147)
三、氯化工艺	(112)	第五章 化工条件和环境安全	(148)
四、硝化工艺	(112)	第一节 化工选址与布置安全	(148)
五、合成氨工艺	(113)	一、厂址的安全选择	(148)
六、裂解(裂化)工艺	(114)	二、总平面的安全布局	(150)
七、氟化工艺	(115)	第二节 化工公用工程安全	(154)
八、加氢工艺	(116)	一、公用工程布局	(154)
九、重氮化工艺	(116)	二、电气系统安全	(155)
十、氧化工艺	(117)	三、供气系统安全	(155)
十一、过氧化工艺	(118)	四、水和蒸汽系统安全	(157)
十二、胺基化工艺	(118)	五、废料处理系统安全	(158)

第三节 化工电气安全	(159)	四、安全技术措施计划管理制度	(191)
一、电气设备安全	(159)	五、事故隐患管理制度	(193)
二、电气防火防爆	(162)	第二节 化工安全操作规程	(195)
三、电气接地与接零	(163)	一、生产岗位安全操作规程 ...	(195)
四、电气安全技术	(164)	二、动火作业安全操作规程 ...	(196)
第四节 化工生产环境保护	(168)	三、检修作业安全操作规程 ...	(197)
一、粉尘危害与防护	(168)	第三节 化工安全管理措施	(200)
二、噪声危害与防护	(170)	一、工艺操作安全管理	(200)
三、振动危害与防护	(172)	二、化学危险品安全管理	(201)
四、辐射危害与防护	(173)	三、生产现场及人的安全管理	(201)
五、作业环境保护	(177)	四、企业安全文化建设	(203)
第五节 化工条件与环境事故案例	(179)	五、企业 HSE 管理体系建设	(205)
一、厂区布置不合理导致多人 死亡事故	(179)	第四节 化工安全管理实例	(209)
二、化工公用工程燃爆事故 ...	(180)	一、化工安全管理安全检查实例	(209)
三、高压配电间触电电气安全事故 ...	(182)	二、化工安全管理杜邦安全文化实例	(211)
四、作业环境中毒事故	(183)	三、化工安全 HSE 管理体系实例	(212)
第六章 化工安全管理	(184)	参考文献	(214)
第一节 化工安全管理制度	(184)		
一、安全生产责任制度	(184)		
二、安全教育培训制度	(186)		
三、安全检查制度	(188)		

第一章 安全与系统安全

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危险因素，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地控制已有的危险因素，又要预见并控制可能出现的新的危险因素，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、系统安全工程及系统安全分析的化工安全基础主要内容。

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其事故规律性的认识；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觉。

(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、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。

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。若在一定程度上消减了危险性，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。

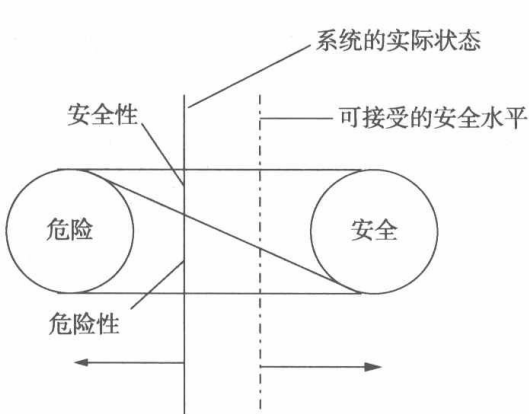


图 1-1 安全性与危险性的关系

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。

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。

危险因素的绝对增长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、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

事故的因果性是指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不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，如图 1-2 所示。

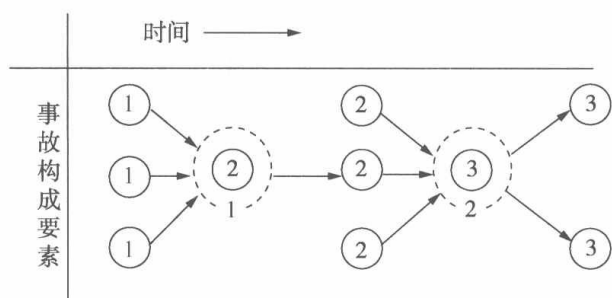


图 1-2 事故的因果关系

2005 年 11 月 13 日，吉林某双苯厂发生爆炸，在随后的 2 个小时内，厂内又接连发生 5 次爆炸。共造成 5 人死亡、1 人失踪、70 多人受伤，直接经济损失 6908 万元。爆炸发生后，排出的苯、苯胺、硝基苯等爆炸污染物和污水进入了松花江，造成了重大的环境污染事件。在这个事故中，双苯厂爆炸的结果是苯、苯胺、硝基苯等爆炸污染物和污水流入松花江的原因，

而流入松花江的污染物又可能引起环境污染以及经济和社会等多方面的后果。

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，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，才能有效地预防事故。

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。这就要求人们必须分析已发生的事故，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

根据生产安全事故报告和调查处理条例,生产安全事故(以下简称事故)造成的人员伤亡或者直接经济损失,事故一般分为以下等级:

- ① 特别重大事故,是指造成30人以上死亡,或者100人以上重伤(包括急性工业中毒,下同),或者1亿元以上直接经济损失的事故;
- ② 重大事故,是指造成10人以上30人以下死亡,或者50人以上100人以下重伤,或者5000万元以上1亿元以下直接经济损失的事故;
- ③ 较大事故,是指造成3人以上10人以下死亡,或者10人以上50人以下重伤,或者1000万元以上5000万元以下直接经济损失的事故;
- ④ 一般事故,是指造成3人以下死亡,或者10人以下重伤,或者1000万元以下直接经济损失的事故。

国务院安全生产监督管理部门可以会同国务院有关部门,制定事故等级划分的补充性规定。所称的“以上”包括本数,所称的“以下”不包括本数。

按致伤原因把伤亡事故分为20类,见表1-1。

表 1-1 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、捶击、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	

4. 事故的发生概率与后果严重度

预防事故发生和控制事故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由下式得到：

$$P = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_d}{N} \quad (1-2)$$

或

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

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(1-2)可称为事故的时间概率，式(1-3)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。

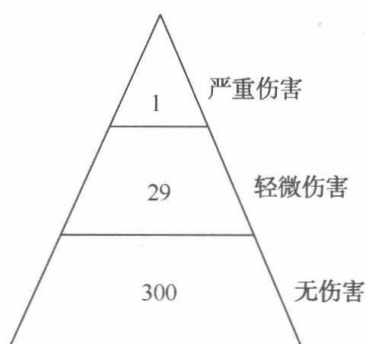


图 1-3 海因里希事故三角形

(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 1-3)。

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。

四、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结果偏离了预定的标准，而人的不安全行为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。

物的因素表现为物的故障。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。

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大小。两类危险源共同决定危险源的危险性。图 1-4 为系统安全观点的事故因果连锁。

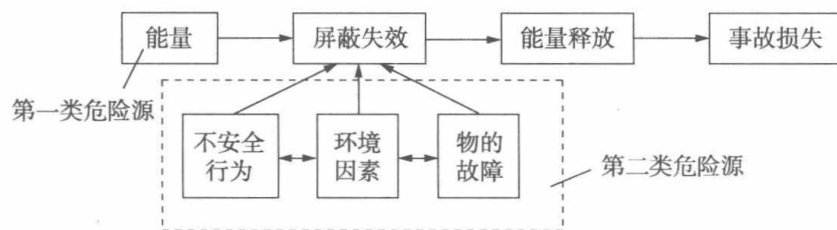


图 1-4 系统安全观点的事故因果连锁

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。

第二节 系统与系统安全工程

一、系统安全

系统安全是指在系统生命周期内应用系统安全工程和系统安全管理方法，辨识系统中的危险源，并采取有效的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。