

石油化工安全工程

上册

中国石油化工集团公司安全与环保监督局 编

中国石化出版社

内 容 提 要

《石油化工安全工程》分上、下两册出版,上册包括:绪论、燃烧与爆炸、防火防爆措施、职业卫生、危险性分析方法和安全评价等内容。下册包括:安全人机工程、锅炉、压力容器安全、电气安全和安全仪表及控制等内容。本书理论联系实际,并结合有关安全标准进行论述,是安全工作者的必修读物。

本书可作为高等院校化工、石油化工类专业的安全工程教学用书,也可作为从事化工、石油化工安全技术管理工作的干部和工程技术人员的安全培训和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油化工安全工程 上册/中国石油化工集团公司安全与环保
监督局编. - 北京:中国石化出版社, 1999
ISBN 7-80043-758-2

I. 石… II. 中… III. 石油化工-安全技术 IV. TE687

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 02977 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) 64241850

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

787×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 317 千字 印 1—10300

1999 年 3 月第 1 版 1999 年 3 月第 1 次印刷

定价:16.00 元

编审委员会

主任：翟 齐

副主任：谢文璧

委员：李正钰 冯 澜 蒋维根 周建明

瞿荣华 柳 耀 袁德和 杨从德

张绍祖 孟京菊

编写人员：谈宗山 蔡凤英 吴振球

前 言

“安全第一，预防为主”是我国的一项基本国策，是各行各业都应遵循的一条准则。人类社会的发展证明，自然界的规律是可以认识和驾驭的，关键是要掌握安全工程学知识，以严格的科学态度，用它的理论基础和提供的预防事故的技术措施和组织措施，抑制事故的发生或降低事故发生的概率和减少事故的损失。石油化工企业具有生产工艺复杂多变、生产装置大型化、过程连续化、自动化、原物料及产品的易燃、易爆、毒害和腐蚀等危险性，因此，对安全生产提出了更高、更严的要求。为保证石油化工生产的顺利进行，不断提高企业的经济效益，防止和避免生产中重大事故的发生，加强现代化安全技术管理，普及和提高安全工程技术知识，必须加强对从业的工程技术人员、安全管理干部以及石油化工类本专科学生进行系统的安全工程技术理论知识教育和培训。为此，中国石油化工集团公司安全与环保监督局组织编写了《石油化工安全工程》一书，作为石油化工行业安全技术教育教材，希望本书的出版能对石油化工企业的安全生产和安全工程技术的发展起到应有的作用。

本书分上、下两册出版，上册由参加编写人员集体讨论，其中第一章、第五章和第六章由蔡凤英执笔；第二章和第三章由谈宗山执笔；第四章由吴振球执笔。初稿完成后，由中国石油化工集团公司安全监督局领导和上海、高桥、镇海、扬子、九江等石化公司安监部领导审定，并提出补充意见，对本书的完成做了许多有益的工作，在此谨表示衷心感谢。

石油化工安全工程技术涉及面甚广，技术性强，由于我们水平有限，虽经编者的多方努力，错误与不妥之处仍在所难免，敬请广大读者提出宝贵意见。

目 录

1 绪论	1
1.1 安全工程的发展简况	1
1.2 石油化工生产和安全	2
1.3 安全工程的研究对象和基本内容	4
1.4 事故预防	5
2 燃烧与爆炸	12
2.1 燃烧及其特性	12
2.2 燃烧机理	25
2.3 燃烧速度	27
2.4 爆炸及其特性	30
3 防火防爆措施	55
3.1 防止可燃可爆系统的形成	55
3.2 火灾爆炸事故蔓延扩散的限制措施	71
3.3 消防设施	84
4 职业卫生	94
4.1 职业卫生的任务	94
4.2 工业毒理学基础	94
4.3 职业病概念	103
4.4 职业病的预防	106
4.5 常见职业中毒的防治	107
4.6 电离辐射的防护	111
5 危险性分析方法	113
5.1 安全检查表	113
5.2 预先危险性分析	117
5.3 故障类型和影响分析	121
5.4 危险和操作性研究	127
5.5 事件树分析	130
5.6 事故树分析	132

6 安全性评价	147
6.1 安全性评价概述	147
6.2 安全性评价的基本程序	148
6.3 安全性评价的标准	149
6.4 安全性评价的基本方法	150
参考文献.....	188

1. 绪 论

科学技术的迅速发展，高新技术的不断开发和应用，给社会带来了极大的效益，从而促进了人类文明的进步和物质文化生活水平的提高。但是必须看到，随着各种产业的高度发展，发生灾害的可能性也增加了，不仅给人们的安全和健康带来威胁，生产也受到阻碍。特别是石油化工生产，由于具有连续性强、高温高压、易燃易爆、有毒有害、资金和技术密集等特点，一旦操作或者控制出现差错，就会导致火灾爆炸或中毒事故的发生，给人们的生命财产带来一定损失，有的甚至给社会造成灾难性后果。因此在各项生产活动中，尤其是化工、石油化工生产要从保护人类健康和生命安全出发，深入探讨事故发生的客观规律，并致力于研究控制危险的有效措施，防止事故特别是重大事故的发生。

1.1 安全工程的发展简况

早在古代，人们从狩猎和其他劳动中就认识到生产工具和自然现象对人的危害作用，发明了一些简单的防护方法。随着科学技术的发展，人类改造自然的能力越来越强，而自然界对人的反作用也越来越大。因此，人类在与自然作斗争的过程中，必须采取各种方法和手段来保护自己及所创造的财富。例如，火的利用对人类进步起了决定作用。但使用不当又会给人们带来灾难，所以自从人类使用火以来，就不断同火灾进行斗争。我国人民在与火灾的长期斗争中积累了丰富的经验。《周易》中就有“水火相忌”、“水在火上既济”的记载。北宋时消防组织就相当严密了，“每坊卷三百步许，有军巡铺一所，铺兵五人”，负责值班巡逻，防火又防盗。可以说防火技术是人类最早应用的安全技术之一。

我们的祖先对瓦斯、毒气、冒顶等也有许多防护和安全措施。隋代巢方著的《病源诸候论》一书就有记载：凡进古井深洞，必须先放入羽毛，如观其旋转，说明有毒气上浮，便不得入内。古代人们采煤时在井下用大竹杆凿去中节插入煤中进行通风，排除瓦斯气体，并用支架防止冒顶等。这些例子都说明古人在安全防毒方面已有不少方法。

到了18世纪中叶，蒸汽机的发明引起了工业革命，使作坊式的手工业生产方式走向大规模机器生产，生产效率较前大为提高。但由于资本家偏面追求利润，残酷压榨工人，再加上机器与生产环境的条件恶劣，工人的生命受到严重威胁。为了生存，工人们不得不同资本家进行斗争来保护自身。迫于工人的斗争和社会舆论的压力，19世纪初期，英、法、德等国家相继颁布了一些安全法令。当时“安全”是作为一种慈善和人道主义的概念，在一定程度上推动了安全技术和社会保障事业的发展。

在劳动保护法建立的同时，不少发达国家先后设立了必要的安全监察机构。例如法国在1876年创立了“锅炉和电气设备所有者协会”，对锅炉、受压容器进行安全检查和技术咨询。德国的“汉诺威和埃森技术监督协会”简称“TUV”，不仅对锅炉、压力容器、管道、起重机械、机动车辆等进行技术监督，而且还对大气、井下瓦斯、噪音、水质等环境因素进行咨询服务。

进入20世纪以后，由于工业发展速度加快，环境污染和重大工业事故相继发生，给社

会带来了极大的危害。例如，1930年12月比利时马斯河谷地区发生的“杀人似的烟雾”使人感到胸痛、呼吸困难，一周之内造成60人死亡。美国、英国也发生过类似事件。在接连不断的事故教训中，国外的资本家不得不改变经营策略，将“质量第一”改为“安全第一”，并在随后采取了一系列安全操作的新措施，不仅保证了雇员的安全，也使产品的产量和质量得到迅速提高。这一成功的经验很快被各国企业界所接受，普遍开始重视安全，广泛开展安全活动。与此同时还设置了安全监察和安全技术机构，有些企业设置了专职安全员，逐步建立了较完善的安全教育、管理和技术体制，使安全科学得到进一步发展。

我国在旧社会根本就没有劳动保护工作，工人阶级在极其恶劣的条件下从事劳动，伤亡事故和职业病骇人听闻。例如，1920年在一次瓦斯爆炸事故中就死亡了433人。而新中国一成立，党和政府十分关心劳动者在劳动过程中的安全和健康，建国初期就将劳动保护的内容写在《共同纲领》及后来的“宪法”上，并在1952年确定了我国安全生产的方针：“生产必须安全，安全为了生产”，现改为“安全第一，预防为主”。在这一方针指引下制定了一系列有关劳动保护的法规，并同时在工矿企业不断地进行技术改造革新，加强了安全技术、工业卫生技术措施，使劳动条件得到明显改善。各行业主管部门都设立了安全管理机构，监督检查各项劳动保护法规的执行和落实。在长期工作实践中我国已形成了一套较为完整的安全管理体系。

近20年来，世界石油化学工业发展异常迅速，由此而引起的重大火灾、爆炸和毒害事故相继发生。1978年发生在西班牙的因超装和太阳曝晒而导致丙烯罐车爆炸事故，一次死亡200多人；1973年和1974年日本连续发生的石油联合企业火灾爆炸事故，不仅造成了重大的人员伤亡和财产损失，而且还严重污染了海域。这些重大破坏事故引起了世界的震惊，人们不得不对安全进行深入的研究和探讨，并广泛将各个技术领域的科技成果应用到安全科学领域中，开发出可靠性很高的安全防护系统，而且计算机技术已被普遍地应用于过程的控制上，进一步提高了工艺过程的安全性。在安全管理方面人们也开始由单纯立法手段逐步走向了科学化和现代化，由事故后的管理走向事故的预测预防上，安全工程的这些新进展使防火、防爆、防尘毒和预防工伤事故、环境污染等方面都取得了重大成果。现在安全工程已初步发展成为一门独立的科学技术体系。

1.2 石油化工生产和安全

1.2.1 石油化工生产的特点

国民经济的迅猛发展，对石油化工产品的需求量与日俱增，从而也促进了石油化工生产快速增长。目前生产的石油化工产品品种达数万种之多。石油化工生产过程比机械、冶金等行业有以下几个突出特点：

(1) 生产中的物料具有易燃易爆、腐蚀毒害等危险性

石油化工生产中使用的原料（含中间品）和产品绝大多数具有易燃、易爆、有毒、有害和有腐蚀的特性。例如，聚氯乙烯树脂生产使用的原料乙烯、甲苯和碳四及中间产品二氯乙烷和氯乙烯都有燃烧爆炸性，在空气中达到一定的浓度，遇点火源即会发生火灾爆炸事故；氯气、二氯乙烷和氯乙烯还有强烈毒性，氯乙烯并有致癌作用；氯气和氯化氢在有水分存在的情况下具有强烈腐蚀性，物质的这些潜在危险性决定了在生产、使用、储存、运输过程中必须严格加强管理，稍有不慎就会酿成事故，给人们的生命财产造成破坏和损失。

(2) 生产工艺复杂多变

石油化工生产过程一般都较为复杂且工艺条件变化较大，往往需要在高温高压或负压深冷的条件下进行操作。例如，以柴油为原料裂解生产乙烯过程中，最高操作温度近 1000℃，最低为 -170℃；最高操作压力为 11.28MPa，最低则为 0.07~0.08MPa。高压聚乙烯生产最高压力达 300MPa 左右。这样的操作条件，再加上许多介质具有强烈腐蚀性，在温度应力，交变应力等作用下，受压容器常常因此而遭到破坏。有些反应过程工艺条件要求很苛刻，像丙烯酸的生产是采用丙烯和空气直接氧化，在反应过程中各种物料比就处于爆炸范围附近，且反应温度超过中间产品丙烯醛的自然点，控制上稍有偏差就会发生化学爆炸。

(3) 生产装置大型化、连续化、自动化

现代石油化工生产装置规模越来越大，以求降低单位产品的投资和成本，提高经济效益。例如，我国合成氨生产装置已达到年产 30 万吨，国外已发展到年产 50 万吨规模。乙烯装置我国已建成年生产能力 45 万吨，并正在着手筹建年生产能力 60 万吨的更大规模。装置的大型化有效地提高了生产效率，但规模越大，贮存的危险物料就越多，潜在的危险能量也越大，一旦发生事故其后果都较为严重。

在生产过程中，从原料输入到产品输出具有高度的连续性，前后单元息息相关，相互制约，某一环节发生故障常常会影响到整个生产的正常进行。由于装置规模大且工艺流程长，因此使用设备的种类和数量都相当多。如某厂 30 万吨乙烯装置含有裂解炉、加热炉、高压锅炉、反应器、换热器、塔、槽、泵、压缩机等设备共 500 多台件，管道上千根，还有各种控制和检测仪表，在操作和管理上稍有疏忽就有可能导致重大事故的发生。

由于装置的大型化、连续化、工艺过程复杂化和工艺参数要求苛刻，因而现代石油化工生产过程用人工操作和一般的控制系统已不能适应其要求，必须采用自动化程度较高的控制系统。近年来随着计算机技术的发展，石油化工生产中普遍采用了 DCS 集散型控制系统，对生产过程的各种参数及开停车实行监视、控制，从而有效地提高了控制的可靠性。但是必须加强控制系统和仪器仪表的维修保养，确保动作准确可靠，否则也会因检测或控制失效而发生事故。

1.2.2 安全在石油化工生产中的重要地位

鉴于石油化工生产具有上述特点，发生事故的可能性及后果比其他行业一般来说要大一些。例如，1975 年美国联合碳化物公司比利时公司安特普厂，年产 15 万吨高压聚乙烯装置，因一个反应釜填料盖泄漏，受热爆炸，发生连锁反应，整个工厂被摧毁。1984 年 12 月 3 日印度博泊尔市农药厂由于安全装置有缺陷，管理上也存在问题，使 45 吨甲基异氰酸酯几乎全部泄漏，造成 20 万人受到不同程度的中毒，死亡数千人，生态环境也遭到严重的破坏。近年来我国也曾发生过几次重大的恶性事故，如 1988 年某厂球罐内大量液化气逸出，遇火种而发生爆燃，致使 26 人死亡，15 人烧伤。

上述事例都充分说明了安全在石油化工生产中的重要作用。如果装置没有完善的安全防护设施和严格的安全管理，即使先进的技术，现代化的设备，也难免发生事故。而一旦发生事故，人民生命和财产将遭到重大损失，生产也无法进行下去，甚至整个装置会毁于一旦。因此，安全是石油化工生产的前提和关键，没有安全作保障，生产就不能顺利进行。企业的各级领导，管理干部、工程技术人员和操作工人都必须做到“安全第一”，把安全生产放在一切工作的首位；同时还必须深入研究安全管理和预防事故的科学方法，控制和消除各种危险因素，做到防患于未然。对于担负着开发新技术、新产品的科研技术人员，必须树立安全

观念，认真探讨和掌握伴随生产过程而可能发生的事故及预防对策，努力为企业提供技术上先进、工艺上合理、操作上安全可靠的生产装置，把石油化工生产中的事故和损失降到最低限度。

1.3 安全工程的研究对象和基本内容

安全工程是研究和查明生产过程中各种事故和职业性伤害发生的原因及防止事故和职业病发生的一门科学。也就是说，它是调查和研究灾害发生的原因，找出科学的防止方法为目标。这与其他工程学不同，不是研究产品的工艺路线，而是针对伴随生产过程可能发生的不安全因素和职业危害所做的科学分析与研究，并考虑人的因素，探讨如何完善生产过程，实现高效率、高可靠性的一门科学。石油化工安全工程是针对石油化工生产的特点，研究如何消除各种危险因素，保证职工安全和健康，达到安全生产目的。

1.3.1 安全工程的研究对象

任何生产过程都离不开人、物、环境三个方面因素，人包括从事生产活动的操作人员和各级管理人员；物不仅指生产中所用的物质（含原材料、辅助材料、催化剂、半成品、产品以及作为动力的能源），也包括机器设备（如机械设备、电气设备、控制系统和仪器仪表等）；环境是指每个生产过程都处在一定的作业环境和社会环境之中。三个方面因素构成了“人—物—环境”生产系统，每个因素就是生产系统的一个子系统。各个子系统都存在着某些潜在危险性，并在一定条件下能转变为事故，影响系统功能的正常发挥。大量事故的调查结果表明，导致事故的原因基本上是由这三个方面因素造成的。例如，人的行为受生理因素和社会因素的影响容易产生差错，主要表现在：当技术不熟练、精神不集中、疲劳、身体不适、心情不愉快或素养差等会发生误操作、误判断或违章指挥、违章作业等。这些不安全行为有时对系统影响可能不大，而有时则能导致灾难性后果。据统计，大多数事故都是由人的不安全行为引起的。生产中所用的原材料和产品，因其具有燃烧、爆炸、腐蚀、毒害等危险性，在生产、使用、储存和运输中如缺乏安全防范措施或管理不善，就会发生意外事件。各种设备由于设计、施工、制造时有缺陷或维修保养不良、腐蚀、老化等原因呈现出磨损、松动、变形、强度下降、破损、发热、移位以及短路、断路等危险状态，运行时常会造成人员伤亡或设备破坏。作业环境中的噪声、振动、粉尘、有毒气体和蒸气、温度、湿度、色彩照明、通风采暖以及射线等物理化学因素，不仅影响人的心理情绪，导致误操作，长期接触还会危害人体健康，甚至引起职业病。管理制度、工时定额、人际关系等社会因素也会影响人的心理状态和行为方式。

在“人—物—环境”系统中，三个子系统相互联系、相互作用、相互影响。安全工程的研究对象就是要从构成系统的人、物、环境三个方面出发，探讨各个方面潜在危险因素出现的条件以及形成事故的原因，寻求控制危险、减少事故和降低损失的有效对策和手段，提高系统的安全性。

中国石油化工总公司根据实践经验总结出，安全生产离不开“人、机、料、法、环”五个方面因素。其中的“人”和“环”与前面提到的相同，“机”和“料”就是上述的“物”，“法”是指为实现某一个生产目的而采用的方法。完成一个任务所采用的方法不同，其危险性也不完全相同。因此，安全工作的研究对象必须从这五个方面出发。

1.3.2 安全工程研究的基本内容

安全工程的任务是保护职工在生产劳动中的安全和健康，防止工伤事故和职业病发生，同时也要防止其他各类事故发生，确保装置连续、正常运行，保护国家财产不受损失。因此，安全工程研究的基本内容范围很广，归纳起来有以下三个方面：

(1) 预防工伤事故和其他各类事故的安全技术

安全技术内容包括研究生产过程中存在的各种危险因素及形成事故的原因，从工艺、设备、控制等几个方面采取安全技术措施，预防和减少工伤事故和其他事故发生。包括防火防爆技术、化学危险品安全储运技术、锅炉压力容器安全技术、电器设备安全技术以及建筑安装、机械加工、个体防护等安全技术。

(2) 各种职业性伤害的防治技术

这方面内容也称为职业卫生，它是针对生产过程中存在的有毒有害因素，作用于人体会引起机体器官发生病变，最终导致职业病发生而采取的防治措施，包括防尘防毒、噪声治理、振动消除、通风采暖、采光照明以及其他物理化学有害因素的防护、现场急救等。

(3) 安全管理

安全管理的内容主要是制定有关安全的法令、条例、规定、规范和标准等。为确保安全还必须采取一系列组织措施。如建立和健全安全组织机构，制定和完善安全管理制度，编制和实施安全技术措施，组织安全检查及宣传教育等，除此之外，还要对装置从设计、施工、投产、正常运行、开停车等各个阶段存在的危险因素进行事先的分析和评估，预测可能发生的事故及其后果，以便制定安全防灾措施，控制和预防事故的发生。

1.4 事故预防

1.4.1 事故可以预防

事故是指人们在进行有目的的活动过程中，突然发生违反人们意愿，并可能使有目的的活动发生暂时性或永久性中止，同时造成人员伤亡或财产损失的意外事件。

事故有自然事故和人为事故之分。自然事故是指由自然灾害造成的事故，如地震、洪水、旱灾、山崩、滑坡、龙卷风等引起的事故。这类事故在目前条件下还不能做到完全防止，只能通过研究预测预报技术，尽量减轻灾害所造成的破坏和损失。人为事故是指由人为因素而造成的事故，这类事故既然是人为因素引起的就一定能够预防。据美国 50 年代统计，在 75000 件伤亡事故中，天灾只占 2%，98% 是人为造成的，也就是说 98% 的事故是可以预防的。

事故之所以可以预防是因为它和其他事物一样，具有一定的特性和规律，只要我们掌握了这些特性和规律，并能合理应用，事先采取有效措施加以控制，就可以预防和减少事故的发生及其造成的损失。一般来说事故具有以下特性：

(1) 因果性

因果性是说一切事故的发生都是由于存在的各种危险因素相互作用的结果。生产中的人身伤害事故是由物和环境的不安全条件、人的不安全行为、管理缺陷以及对突发的意外事件处理不当等原因所引起的，绝对不会无缘无故发生。事故的因果性是事故必然性的反映，若生产中存在着危险因素，则迟早必然发生事故。

在生产活动中，促成事故发生的因素往往很多，这些因素有的和事故有着直接联系，有的则是间接联系。也就是说因果关系具有继承性，即原因是多层次的，第一阶段的结果可能

又是下一阶段的原因，它们的关系如图 1-1 所示。许多原因相互作用，最后导致事故发生，因此不要把事故原因归结于某一点。

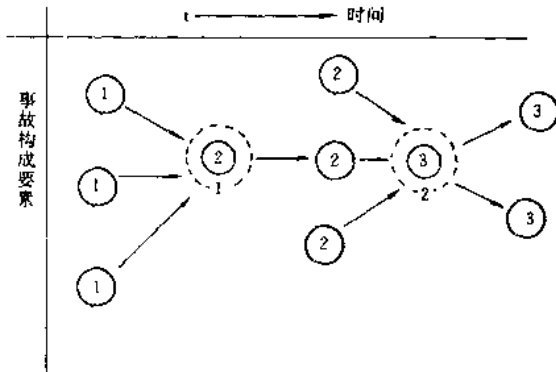


图 1-1 因果关系示意图

事故的原因都是客观存在的，除了有的由于受科学技术发展水平的限制，暂时分析不清楚外；绝大多数是可以认识的。只要竭尽全力把这些原因事先都识别出来（包括直接原因和间接原因），并加以控制和消除，就可以预防事故发生。

(2) 偶然性

事故具有偶然性，是说事故的发生是随机的。偶然性寓于必然性之中。事故的随机性表明它服从统计规律，因而可用数理统计方法进行分析预测，找出事故发生、发展的规律，从而为预防事故提供依据。

(3) 潜伏性

事故的潜伏性是说事故在尚未发生或还未造成后果之时，是不会显现出来的，好像一切都处在“正常”和“平静”状态。但是生产中的危险因素是客观存在的，只要这些危险因素未被消除，事故总会发生的，只不过时间早晚而已。事故的这一特征要求人们消除盲目性和麻痹思想，常备不懈，居安思危，在任何时候任何情况下都要把安全放在第一位来考虑。要在事故发生之前充分辨识潜在危险因素，事先采取措施进行控制，最大限度地防止危险因素转化为事故。

1.4.2 伤亡事故致因理论

(1) 海因里希的事故法则

美国安全工程师海因里希 (Heinrich) 在 50 多年前统计了 55 万件机械事故，其中死亡、重伤事故 1666 件，轻伤 48334 件，其余则为无伤害事故。从而得出一个重要结论，即在机械事故中，死亡、重伤，轻伤和无伤害事故的比例为 1:29:300，国际上把这一法则叫事故法则。这个法则说明，在机械生产过程中，每发生 330 起意外事件，有 300 件未产生人员伤害，29 件造成人员轻伤，1 件导致重伤或死亡，其比例关系如图 1-2 所示。

对于不同的生产过程，不同类型的事故，上述比例关系不一定完全相同，但这个统计规律说明了在进行同一项活动中，无数次意外事件，必然导致重大伤亡事故的发生。而要防止重大事故的发生必须减少和消除无伤害事故，要重视事故的苗子和未遂事故，否则终会酿成大祸。例如，某机械师企图用手把皮带挂到正在旋转的皮带轮上，因未使用拨皮带的杆，且站在摇晃的梯板上，又穿了一件宽大长袖的工作服，结果被皮带轮绞入碾死。事故调查结果表明，他这种上皮带的方法每天使用已有数年之久。查阅 4 年病历（急救上药记录），发现他有 33 次手臂擦伤后治疗处理，他手下工人均佩服他手段高明，结果还是导致死亡。这一事例说明，重伤和死亡事故虽有偶然性，但是不安全因素或动作在事故发

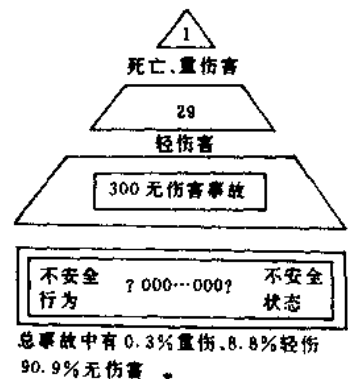


图 1-2 海因里希的事故法则

生之前已暴露过许多次，如果在事故发生之前，抓住时机，及时消除不安全因素，许多重大伤亡事故是完全可以避免的。

(2) 事故的因果连锁

海因里希提出了伤亡事故的发生是按照下列5个因素顺序进行的：

①遗传及社会环境 遗传因素可能造成人的性格鲁莽、固执、贪婪。社会环境，如缺乏教育等，也会造成人性格上的缺点。

②人的缺点 人的性格过激、暴躁、轻率、素养差以及缺乏安全知识等先天或后天因素是产生不安全行为或造成物的不安全状态的直接原因。

③人的不安全行为或物的不安全状态 人的过失或缺点产生不安全动作或促成机械或物的不安全状态，例如拆除安全防护装置，转动设备缺乏防护罩、照明不良等，这是引发事故的直接原因。

④事故 由于不安全行为或不安全状态引起失去控制的事件。

⑤伤害 事故造成人员伤害。

上述5个因素顺序说明了人身伤害之所以发生是由于前面因素作用的结果。它们之间的因果连锁关系可以用多米诺骨牌原理来阐述。图1-3所示的骨牌系列，如果第一颗骨牌被碰倒了，则将发生连锁反应，使后面的几颗骨牌相继碰倒。若移去中间的一颗骨牌，则系列中断，连锁被破坏，伤害就不会发生。事故因果连锁原理强调，安全工作的重点就是防止人的不安全行为，消除机械的或物的不安全状态，使连锁中断，预防伤害事故发生。

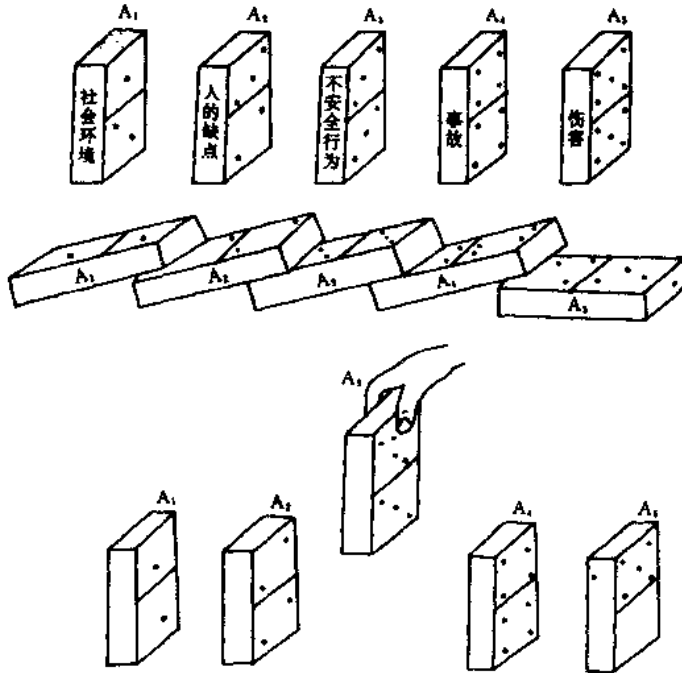


图1-3 海因里希事故因果连锁图

(3) 轨迹交叉论

这种理论认为，人的不安全行为和机械或物质的不安全状态是人—机“两方共系”（即两个方面共存存在于一个系统）中能量逆流的两系列，其轨迹交叉点就会构成事故。

这里将系统分成人与物两个连锁系列。在人的连锁系列中，不安全行为是基于生理、心

理、动作几个方面产生的，后者又取决于遗传、社会环境，其系列展开如下：

a. 生理遗传、社会环境与企业管理上的缺陷；

b. 后天的心理缺陷（这是由 a 引起的心理、生理上的缺陷，安全意识低下，缺乏安全知识和安全技能等）；

c. 人的不安全行为（由 a 和 b 而产生不安全动作）。

在物的系列中，从设计、制造直到使用整个过程，各个阶段都可能产生不安全状态，引起事故的连锁系列如下：

A. 设计、制造缺陷。由于设计计算错误或结构上不合理，制造时选用不合要求的材料，加工方法有误等而使机械、设备和其他产品有缺陷。

B. 使用、维修和保养过程中有缺陷。如机械设备使用时间过长，产生磨损、老化、腐蚀等时容易发生故障，维修保养不良，超负荷运转等都有可能使性能下降。

C. 物的不安全状态。由于设计、制造、使用、维修保养中有缺陷，使机械设备存在事故隐患。

由此可见，人的系列的运动轨迹是 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 。物的系列的运动轨迹是 $A \rightarrow B \rightarrow C$ ，与人的相似。在生产过程中，人、物两系列轨迹相交的时间与空间（时空），就是发生伤亡事故的“时空”，即人的不安全行为和物的不安全状态出现于同一时间、同一空间，则将在此时间、此空间发生事故。

如果排除了机械设备或危险物质的隐患，消除了人为过失，则两个连锁系列运动轨迹不能相交，事故就不会发生。

中断人的连锁系列，则要加强教育和技术培训，进行科学的安全管理，从生理、心理和操作上控制不安全行为的产生。中断物的连锁系列，就是要推行“失误—防护”系统，即在机械设备上安装安全防护设施，提高本质安全性，即使人操作失误，装置本身的安全防护系统会自动动作，从而可避免伤亡事故发生。

（4）能量转移论

任何生产过程都离不开能量。人们利用能量做功实现生产目的。在正常生产过程中，能量是在受约束和限制的条件下，按照人们的意图进行有序流动，如果能量超越了这些约束和限制，发生了能量外溢，便失去了控制，当能量作用于人体，并且超出了人的承受能力，则会发生人身伤害事故。

能量转移论认为，可以用屏蔽的方法防止不希望的能量转移。根据这个原理采取防止能量转移的措施，就可有效控制伤亡事故的发生。

防止能量转移的方法有许多，如限制能量，包括限制转动部件的速度、用低电压设备、用无危险性的溶剂等；防止能量释放，如密封、绝缘、用安全带等。在人与能量之间加屏蔽，如防火门、防爆墙、防护栏杆及警告牌示等；缓慢释放能量，如安全阀、爆破膜等；在能量上设置屏蔽，如在机器转动部位加防护罩，安装消声器等。

除了上述事故致因理论外，还有其他几种，如变化—失误连锁、多重因素理论、以人失误为主因的事故链等。在此不一一介绍。

事故致因理论形象地描述了事故的原因及其相互间复杂作用的结果，揭示了伤亡事故的实质，也指明了预防事故的根本原则。

1.4.3 预防事故的基本原则

根据伤亡事故致因理论以及大量事故原因分析结果显示，事故发生主要是由于设备或装

置上缺乏安全技术措施，管理上有缺陷和教育不够三个方面原因而引起。因此，必须从技术、教育、管理三个方面采取措施，并将三者有机结合，综合利用，才能有效地预防和控制事故的发生。

(1) 安全技术措施

安全技术措施是指对设备、装置和工程从设计阶段开始，根据生产的工艺条件、物质(含原料、中间产品、产品)、设备以及其他有关设施，充分分析和查找潜在的危险因素和不安全部位，预测危险可能导致的事故及造成的后果，然后从工艺上、设备上、控制上提出消除危险、防止事故的技术措施，并在设计和建设时给予解决和落实。将事故隐患消灭在工程项目的设计阶段，保证装置投产后能安全稳定运行。另外，对正在运行的装置和设备也要定期地进行危险性分析和评价，找出薄弱环节和事故隐患，加强安全技术措施，不断提高装置的安全可靠性，将危险降到最低限度。

安全技术措施包括预防事故发生和减少事故损失两个方面，这些措施归纳起来主要有以下几类：

①减少潜在危险因素。在新工艺、新产品的开发时，尽量避免使用危险的物质，危险工艺和危险设备。例如在开发新产品时，尽可能用不燃和难燃的物质代替可燃物质，用无毒或低毒物质代替有毒物质，生产中如没有易燃易爆和有毒物质，发生火灾、爆炸、中毒事故就失去了基础。因此，这是预防事故的最根本措施。

②降低潜在危险性的程度。潜在危险性往往达到一定的程度或强度才能施害，通过一些措施降低它的程度，使之处在安全范围以内就能防止事故发生。如作业环境中存在有毒气体，可安装通风设施，降低有害气体浓度，使之达到标准值以下，就不会影响人身安全和健康。

③联锁。就是当出现危险状态时，强制某些元件相互作用，以保证安全操作。例如，当检测仪表显示出工艺参数达到危险值时，与之相连的控制元件就会自动关闭或调节系统，使之处于正常状态或安全停车。目前由于化工、石油化工生产工艺越为越复杂，联锁的应用也越来越多，这是一种很重要的安全防护装置，可有效地防止人的误操作。

④隔离操作或远距离操作。由事故致因理论得知，伤亡事故发生必须是人与施害物相互接触。如果将两者隔离开来或者远离一定距离，就会避免人身事故的发生或减弱对人体的危害。提高自动化生产程度，设置隔离屏障，防止人员接触危险物质和危险部位都属于这方面措施。

⑤设置薄弱环节。在设备或装置上安装薄弱元件，当危险因素达到危险值之前这个地方预先破坏，将能量释放，保证安全。例如，在压力容器上安装安全阀或爆破膜，在电气设备上安装保险丝等。

⑥坚固或加强。有时为了提高设备的安全程度，可增加安全系数，加大安全裕度，保证足够的结构强度。

⑦警告牌示和信号装置。警告可以提醒人们注意，及时发现危险因素或部位，以便及时采取措施，防止事故发生。警告牌示是利用人们的视觉引起注意；警告信号则可利用听觉引起注意。目前应用比较多的可燃气体、有毒气体检测报警仪，既有光也有声，可以从视觉和听觉两个方面提醒人们注意。

⑧封闭。就是将危险物质和危险能量局限在一定范围之内，可有效预防事故发生或减少事故损失。例如，使用易燃易爆、有毒有害物质，把它们密闭在容器、管道里边，不与空

气、火源和人体接触，就不会发生火灾爆炸和中毒事故。将容易发生爆炸的设备用防爆墙围起来，一旦爆炸，破坏能量不至于波及到周围的人和设备。

此外，还有生产装置的合理布局、建筑物和设备保持一定安全距离等其他方面的安全技术措施。随着科学技术的发展，还会开发出新的更加先进的安全防护技术措施，要在充分辨识危险性的基础上，具体选用。

安全技术设施在投用过程中，必须加强维护保养，经常检修，确保性能良好，才能达到预期效果。

(2) 安全教育措施

安全教育是对企业各级领导、管理人员以及操作工人进行安全思想政治教育和安全技术知识教育。安全思想政治教育的内容包括国家有关安全生产、劳动保护的方针政策、法规法纪。通过教育提高各级领导和广大职工的安全意识、政策水平和法制观念，牢固树立安全第一的思想，自觉贯彻执行各项劳动保护法规政策，增强保护人、保护生产力的责任感。安全技术知识教育包括一般生产技术知识、一般安全技术知识和专业安全生产技术知识的教育，安全技术知识寓于生产技术知识之中，在对职工进行安全教育时必须把二者结合起来。一般生产技术知识含企业的基本概况、生产工艺流程、作业方法、设备性能及产品的质量规格。一般安全技术知识教育含各种原料、产品的危险危害特性，生产过程中可能出现的危险因素，形成事故的规律，安全防护的基本措施和有毒有害的防治方法，异常情况下的紧急处理方案，事故时的紧急救护和自救措施等。专业安全技术知识教育是针对特别工种所进行的专门教育，例如锅炉、压力容器、电气、焊接、化学危险品的管理、防尘防毒等专门安全技术知识的培训教育。

安全技术知识的教育应做到应知应会，不仅要懂得方法原理，还要学会熟练操作和正确使用各类防护用品、消防器材及其他防护设施。

(3) 安全管理措施

安全管理是通过制定和监督实施有关安全法令、规程、规范、标准和规章制度等，规范人们在生产活动中的行为准则，使劳动保护工作有法可依，有章可循，用法制手段保护职工在劳动中的安全和健康。建国以来，我们党和政府先后制定了一系列安全法规。例如，1956年周总理主持的国务院全体会议上讨论通过并颁布实施了“三大规程”即《工厂安全卫生规程》、《建筑安装工程安全技术规程》和《工人职员伤亡事故报告规程》。1963年又颁布了“五项规定”，这五项规定是：①关于安全生产责任制；②关于安全技术措施计划；③关于安全生产教育；④关于安全生产的定期检查；⑤关于伤亡事故的调查和处理。“五项规定”中明确指出企业的各级领导必须实行安全和生产的“五同时”，即在计划、布置、检查、总结评比生产的时候，同时计划、布置、检查、总结、评比安全工作。1978年中共中央《关于做好劳动保护工作的通知》在总结当时我国安全生产情况和存在的问题时，明确规定：今后，凡是新建、改建、扩建的工矿企业和革新、挖潜的工程项目，都必须有保证安全生产和消除有毒有害物质的设施。这些设施要与主体工程同时设计，同时施工，同时投产，不得削减，这就是安全和生产的“三同时”。为贯彻执行国家安全生产的法令、法规，各地方政府和行业主管部门也制定了一些劳动保护的规定、条例等。例如，中国石化总公司根据国家安全生产方针，并结合自己的实际情况制定了“安全第一，预防为主，全员动手，综合治理”的安全生产方针和“全员、全过程、全方位、全天候”的安全监督管理原则。针对各种生产过程的特点，国家及有关部委还制定了许多劳动保护设计技术规范，作为安全设计、

“三同时”审查和安全监督管理的依据。这些法规和制度对搞好劳动保护工作，防止事故发生起了很重要的作用。

但是应该注意，安全技术规范、标准是防止灾害，保证安全生产的最基本要求。随着新的生产技术不断开发，新工艺、新材料、新能源不断出现，工艺过程日趋复杂化、大型化、连续化，其潜在的危险性也大为增加。而法规的修改往往需要一个过程，法规范围以外不一定就没有危险。在这种情况下，只是单纯强调遵守现行法规，或者凭经验去进行安全管理，显然是不能完全奏效的，必须用系统的思想进行安全管理。

系统的思想方法就是把事物当作一个整体来研究，从整体出发分析其内部各组成部分之间的有机联系和系统外部环境的相互关系，是一种综合的研究分析方法。

系统安全管理与传统的安全管理不同，不是在事故发生之后就事论事地去解决个别问题，而是用系统工程的方法和原理预先分析、评价系统中存在的危险因素及可能造成的损失，从而制定出相应的安全措施，使系统危险性减至最低程度。

“识别—评价—控制”危险因素是从系统的初期阶段就开始，并在以后逐渐完善的各个阶段，反复地进行下去，使系统在规定的寿命周期内达到最佳安全水平。只有这样，才能做到防患于未然，实现系统安全。

安全技术、安全教育、安全管理三个方面措施，技术措施是提高工艺过程、机械设备的本质安全性，即当人出现操作失误，其本身的安全防护系统能自动调节和处理，以保护设备和人身的安全，所以它是预防事故最根本的措施。安全管理是保证人们按照一定的方式从事工作，并为采取安全技术措施提供依据和方案，同时还要对安全防护设施加强维护保养，保证性能正常，否则，再先进的安全技术措施也不能发挥有效作用。安全教育是提高人们安全素质，掌握安全技术知识、操作技能和安全管理方法的手段。没有安全教育就谈不上采取安全技术措施和安全管理措施。所以说，技术、教育、管理三个方面措施是相辅相成的，必须同时进行，缺一不可，技术（Engineering），教育（Education）、管理（Enforcement）措施又称为“三E”措施，是防止事故的三根支柱。

思 考 题

1. 为什么说安全在石油化工生产中有着重要的作用？
2. 安全工程研究的内容有哪些方面。
3. 为什么说事故是可以预防的？
4. 预防事故的基本原则有哪些？