

第 1 章 概 述

危险化学品生产安全是危险化学品管理的重要环节，危险化学品的生产不同于一般的生产过程。在其生产过程中要涉及多种危险物料、复杂多变的化学工艺过程、各种危险的操作单元、各类压力容器、管道和特种设备等，这些因素构成了危险化学品生产过程中的潜在危险源。正确地辨识、评价分析和控制各种危险源是危险化学品生产安全的重要保证。

1.1 危险化学品生产与安全

(1) 危险化学品生产的特点

经济的迅速发展，对化学产品的需求种类和数量与日俱增，这些化学产品的生产从某种意义上讲，也就是危险化学品（《危险化学品管理条件》第三条所指出的，“本条例所称危险化学品，包括爆炸品、压缩气体和液化气体、易燃液体、易燃固体、自燃物品和遇湿易燃物品、氧化剂和有机过氧化物、有毒品和腐蚀品等）的生产。社会的巨大需求促进了危险化学品生产的快速增长，据不完全统计，中国经济发达的长三角地区就集聚了上万家大大小小的化工生产企业。化学品品种迅速增加（种类已达数万种之多），产品产量大幅度增长，有力地促进了国民经济的发展，改善和提高了人们的生活水平。

但是危险化学品生产过程存在着许多不安全因素和职业危害，如易燃、易爆、易中毒、高温、高压、有腐蚀性等，比其他生产有着更大的危险性，这主要是由于危险化学品生产具有如下几个特点：

危险化学品生产的物料绝大多数具有潜在危险性

危险化学品生产使用的原料、中间体和产品种类繁多，绝大多数是易燃易爆、有毒有害、腐蚀性等危险化学品。例如，聚氯乙烯树脂生产使用的原料乙烯、甲苯和 C_4 及中间产品二氯乙烷和氯乙烯都是易燃易爆物质，在空气中达到一定的浓度，遇火源即会发生火灾、爆炸事故；氯气、二氯乙烷、氯乙烯还具有较强的毒性，氯乙烯并具有致癌作用，氯气和氯化氢在有水分存在下有强烈腐蚀性。

这些潜在危险性决定了在生产过程中对危险化学品的使用、储存、运输都提出了特殊的要求，如果稍有不慎就会酿成事故。

危险化学品生产工艺过程复杂、工艺条件苛刻

危险化学品生产从原料到产品，一般都需要经过许多生产工序和复杂的加工

单元，通过多次反应或分离才能完成。有些化学反应是在高温、高压下进行。

例如，由轻柴油裂解制乙烯，进而生产聚乙烯的生产过程。轻柴油在裂解炉中的裂解温度为 800°C ，裂解气要在深冷（ -96 ）条件下进行分离，纯度为 99.99% 的乙烯气体在 294kPa 压力下聚合，制取聚乙烯树脂。

一般炼油生产的催化裂化装置，从原料到产品要经过 8 个加工单元，乙烯从原料裂解到产品出来需要 12 个化学反应和分离单元。

危险化学品生产的工艺参数前后变化很大。工艺条件的复杂多变，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，受压力容器常常因此而遭到破坏。有些反应过程要求的工艺条件很苛刻。像用丙烯和空气直接氧化生产丙烯酸的反应，各种物料比就处于爆炸范围附近，且反应温度超过中间产物丙烯醛的自然点，控制上稍有偏差就有发生爆炸的危险。

生产规模大型化、生产过程连续性

现代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，我国的炼油装置最大规模已达年产 1000 万吨，乙烯装置已建成年生产能力 70 万吨。装置的大型化有效地提高了生产效率，但规模越大，储存的危险物料量越多，潜在的危险能量也越大，事故造成的后果往往也越严重。

生产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。如某厂年产 30 万吨乙烯装置含有裂解炉、加热炉、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，这些设备如维修保养不良很易引起事故的发生。

生产过程的自动化

从生产方式来讲，危险化学品生产已经从过去落后的坛坛罐罐的手工操作、间断生产向自动化方向发展。由于装置大型化、连续化、工艺过程复杂化和工艺参数要求苛刻，因此现代化工生产过程用人工操作已不能适应其需要，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，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、管理，从而有效地提高了控制的可靠性。但是控制系统和仪器仪表维护不好，性能下降，也可能因检测或控制失效而发生事故。

但是在现阶段，我国还有一定的企业，如染料、医药、表面活性剂、涂料、香料等精细化工生产中自动化程度不高，间歇操作还很多。在间歇操作时，由于人机接触相对紧密、岗位工作环境差、劳动强度大等，都易导致事故的发生。

(2) 安全在危险化学品生产中的重要地位

安全是人类赖以生存和发展的最基本需要之一。亚伯拉罕·H·马斯洛在 1943

年发表的《人类激励的一种理论》一文中提出了需要层次理论。它把人类的各种各样的需要分成五种不同的需要，并按其优先次序，排成阶梯式的需要层次：自我实现的需要、尊重需要、归属需要、安全的需要和生理的需要。其中生理需要（吃、穿、住、用、行等）是生存最基本的需要，其次就是希望得到安全，没有伤亡、疾病和不受外界威胁。可见安全是人的最基本和低层次的需要。

危险化学品生产由于具有自身的特点，发生事故的可能性及其后果比其他行业一般来说要大，而发生事故必将威胁着人身的安全和健康，有的甚至给社会带来灾难性破坏。例如，1975年美国联合碳化物公司比利时公司安特卫普厂，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，整个工厂被毁。1984年12月3日发生在印度博帕尔市农药厂的毒气泄漏事故，由于储罐上安全装置有缺陷，管理上也存在问题，致使55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破坏。

我国化工行业也曾发生过多起重大的恶性事故，如1988年某厂球罐内大量液化气逸出，遇火种而发生爆燃，使26人丧生，15人烧伤。血的教训充分说明在危险化学品生产中如果没有完善的安全防护设施和严格的安全管理，即使拥有先进的生产技术，现代化的设备，也难免发生事故。因此，安全在危险化学品生产中有着非常重要的作用，安全是危险化学品生产的前提和关键，没有安全作保障，生产就不能顺利进行。随着社会的发展，人类文明程度的提高，人们对安全的要求也越来越高，企业各级领导、管理干部、工程技术人员和操作工人都必须做到“安全第一，预防为主”，把安全生产始终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、新产品的工程技术人员，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，努力为企业提供更技术上先进、工艺上合理、操作上安全可靠的生产技术，使危险化学品生产中的事故和损失降到最低限度。

1.2 危险化学品生产中的事故特点

危险化学品生产中事故的特征基本上是由所用原料特性、加工工艺方法和生产规模所决定的。为了预防事故，必须了解这些事故特点。

(1) 火灾、爆炸、中毒事故比例大

这是与危险化学品生产使用的原料、工艺过程密切相关的。

根据有关统计资料，危险化学品生产中的火灾、爆炸事故的死亡人数占因工死亡总人数的13.8%，居第一位；中毒窒息事故致死人数为死亡总人数的12%，

占第二位；高空坠落和触电，分别占第三位、第四位。

很多生产原料的易燃性、化学活性和毒性本身就会导致事故的频繁发生。反应器、压力容器的爆炸，以及燃烧传播速度超过音速时的爆轰，都会造成破坏力极强的冲击波，冲击波超压达 0.2atm 时，就会使砖木结构建筑物部分倒塌、墙壁崩裂。如果爆炸发生在室内，压力一般会增加 7 倍以上，任何坚固的建筑物都承受不了这样大的压力。由于管线破裂或设备损坏，大量易燃气体或液体瞬间泄漏，便会迅速蒸发形成蒸气云团，并且与空气混合达到爆炸下限，随风漂移。如果飞到居民区遇明火爆炸，其后果将是灾难性的。

据估算， 50t 的易燃气体泄漏会造成直径 700m 的云团，在其覆盖下的居民，将会被爆炸火球或扩散的火焰灼伤，其辐射强度将达 $14\text{W}/\text{m}^2$ （而人能承受的安全辐射强度仅为 $0.5\text{W}/\text{m}^2$ ），同时人还会因缺乏氧气窒息而死。

多数化学物品对人体有害，生产中由于设备密封不严，特别是在间歇操作中泄漏的情况很多，容易造成操作人员的急性和慢性中毒。据化工部门统计，因一氧化碳、硫化氢、氮气、氮氧化物、氨、苯、二氧化碳、二氧化硫、光气、氯化钡、氯气、甲烷、氯乙烯、磷、苯酚、砷化物等 16 种物质造成中毒、窒息的死亡人数占中毒死亡总人数的 87.9% 。而这些物质在一般化工厂中都是常见的。

生产装置的大型化使大量化学物质处于工艺过程中或储存状态，一些比空气重的液化气体如氨、氯等，在设备或管道破口处以 $15^\circ \sim 30^\circ$ 呈锥形扩散，在扩散宽度 100m 左右时，人还容易察觉迅速逃离，但毒气影响宽度可达 1km 或更多，在距离较远而毒气浓度尚未稀释到安全值时，人则很难逃离并导致中毒。

(2) 正常生产时事故的多发性

正常生产活动时发生事故造成死亡的占因工死亡总数的 66.7% ，而非正常生产活动时仅占 12% 。

危险化学品生产中有许多副反应生成，有些机理尚不完全清楚；有些则是在危险边缘（如爆炸极限）附近进行生产的，例如乙烯制环氧乙烷、甲醇氧化制甲醛等，生产条件稍有波动就会发生严重事故。间歇生产更是如此。

危险化学品生产工艺中影响各种参数的干扰因素很多，设定的参数很容易发生偏移，而参数的偏移是事故的根源之一。即使在自动调节过程中也会产生失调或失控现象，人工调节更易发生事故。

由于人的素质或人机工程设计欠佳，往往会造成误操作，如看错仪表、开错阀门等。特别是现代化的生产中，人是通过控制台进行操作的，发生误操作的机会更多。

(3) 材质、加工缺陷以及腐蚀危害

危险化学品生产的工艺设备一般都是在严酷的生产条件下运行的。腐蚀介质的作用，振动、压力波动造成的疲劳，高低温对材质性质的影响等都可造成安全

问题。生产设备的破损与应力腐蚀裂纹有很大关系。设备材质受到制造时的残余应力和运转时拉伸应力的作用，在腐蚀的环境中就会产生裂纹并发展扩大。在特定条件下，如压力波动、严寒天气就会引起脆性破裂，可能造成灾难性事故。生产设备除了选择正确的材料外，还要求正确的加工方法。

(4) 危险化学品生产中事故的多发期

危险化学品生产常遇到事故多发、连续发生的情况，给生产带来被动。危险化学品生产装置中的许多关键设备，特别是高负荷的塔槽、压力容器、反应釜、经常开闭的阀门等，运转一定时间后，常会出现多发故障或集中发生故障的情况，这是因为设备进入到寿命周期的衰老阶段，这也是事故的多发期。对待多发事故必须采取预防措施，加强设备检测和监护措施，及时更换到期设备，杜绝设备超期服役。

1.3 危险化学品生产中的事故预防概述

尽管生产过程存在着各种各样的危险因素，在一定条件下可能导致事故的发生，但只要事先进行预测和控制，事故一般是可以预防的。

事故是以人体为主，在与能量系统关联中突然发生的与人的希望和意志相反的事件。事故是意外的变故或灾祸。事故还可描述为，个人或集体在时间进程中，为实现某一意图而采取行动的过程中，突然发生了与人的意志相反的情况（指人员死亡、疾病、伤害、财产损失、其他损失），迫使这种行动暂时地或永久地停止的事件。事件与事故是相互关联的，防事故要从防事件做起。

1.3.1 危险化学品生产中的事故特征及危险源

(1) 事故的特征

因果性

因果性，是某一现象作为另一现象发生的依据的两种现象之关联性。事故是相互联系的诸原因的结果。事故这一现象都和其他现象有着直接或间接的联系。在这一关系上看来是“因”的现象，在另一关系上却会以“果”出现，反之亦然。

这些危险的“因”可能来自人的不安全行为和管理缺陷，也可能有物和环境的不安全状态。它们在一定的时间和空间内相互作用，导致系统的运行偏差、故障、失效及其他隐患，最终发生事故。

事故的因果关系有继承性，即多层次性；第一阶段的结果往往是第二阶段的原因。给人造成伤害的直接原因易于掌握。这是由于它所产生的某种后果显而易

见。然而，要寻找出究竟是何种间接原因又是经过何种过程而造成事故后果，却非易事。因为随着时间的推移，会有种种因素同时存在，有时诸因素之间的关系相当复杂，还有某种偶然机会存在。因此，在制定事故预防措施时，应尽最大努力掌握造成事故的直接和间接的原因，深入剖析事故根源，防止同类事故重演。

随机性

事故的随机性是说事故发生的偶然性。从本质上讲，事故是一定条件下可能发生，也可能不发生的随机事件。事故的发生包含着偶然因素，偶然性是客观存在的，偶然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的，而是可以通过客观的和科学的分析，从随机发生的事故中发现其规律，通过不懈的和能动性的努力，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。

事故是由于某种客观不安全因素的存在，随时间进程产生某种意外情况而显现出的一种现象。因此在一定范围内，用一定的科学仪器或手段可以找出近似规律，从外部和表面上的联系找到内部的决定性的主要关系。这就是从事故的偶然性找出必然性，认识事故发生的规律性，使事故消除在萌芽状态之中。

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前，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变得非常困难。这就要求人们百倍珍惜已发生事故中的经验教训，不断地探索和总结，消除盲目性和麻痹思想，常备不懈，居安思危，时刻把安全放在第一位。

在危险化学品生产活动中所经过的时间和空间，不安全的隐患总是潜在的，条件成熟时在特有的时间场所就会显现为事故。因此要抓本质安全，把事故隐患消灭在设计的图纸上；要抓安全教育，使人认识到在生产过程中潜在的事故隐患，能够及时加以排除，达到安全生产。时间是不可复返的，完全相同的事件也不会再次重复显现。但是对类似的同种因果联系事故，防止其重复发生是可能的。

人们基于对过去事故所积累的经验 and 知识，提出多种预测模型，在生产活动开始之前预测在各种条件下可能出现的危险，采取积极的预防措施，根除隐患，

使之不再发展成为事故。

(2) 危险源

危险源是危险的根源，为可能导致人员伤亡或物质损失事故的、潜在的不安全因素。因此，各种事故致因因素都是危险源。

导致事故的因素种类繁多。根据危险源在事故发生中的作用，将其划分为两大类。

第一类危险源

根据能量意外释放理论，能量或危险物质的意外释放是伤亡事故发生的物理本质。于是，把危险化学品生产过程中存在的，可能发生意外释放的能量（能源或能量载体）或危险物质称为第一类危险源。

为防止第一类危险源导致事故，必须采取措施约束、限制能量或危险物质，控制危险源。在正常情况下，生产过程中的能量或危险物质受到约束或限制，不会发生意外释放，即不会发生事故。但是，一旦这些约束或限制能量、危险物质的措施受到破坏、失效或故障，则将发生事故。

第二类危险源

导致能量或危险物质约束或限制措施破坏或失效、故障的各种因素，叫做第二类危险源。它主要包括物的故障、人为失误和环境因素。

物的故障是指机械设备、装置、元部件等由于性能低下而不能实现预定功能的现象。物的不安全状态也是物的故障。故障可能是固有的，由于设计、制造缺陷造成的；也可能由于维修、使用不当，或磨损、腐蚀、老化等原因造成的。从系统的角度考察，构成能量或危险物质控制系统的元素发生故障，会导致该控制系统的故障而使能量或危险物质失控。故障的发生具有随机性，这涉及到系统可靠性问题。

人为失误是指人的行为结果偏离了被要求的标准，即没有完成规定功能的现象。人的不安全行为也属于人为失误。人为失误会造成能量或危险物质控制系统故障，使屏蔽破坏或失效，从而导致事故发生。

环境因素，指人和物存在的环境，即生产作业环境中的温度、湿度、噪声、振动、照明、通风换气以及有毒有害气体存在等。

一起伤亡事故的发生往往是两类危险源共同作用的结果。第一类危险源是伤亡事故发生的能量主体，决定事故后果的严重程度；第二类危险源是第一类危险源造成事故的必要条件，决定事故发生的可能性。

1.3.2 事故致因理论

1.3.2.1 事故致因理论发展概述

事故致因理论指探索事故发生及预防规律，阐明事故发生机理，防止事故发

生的理论。事故致因理论是用来阐明事故的成因、始末过程和事故后果，以便对事故现象的发生、发展进行明确的分析。

事故致因理论的出现已有 80 多年历史，是从最早的单因素理论发展到不断增多的复杂因素的系统理论。早在 1919 年格林伍德和 1926 年纽伯尔德，都曾认为事故在人群中并非随机地分布，某些人比其他人更易发生事故，因此，就用某种方法将有事故倾向的工人与其他人区别开来。

1939 年法默和凯姆伯斯又重复提出：一个有事故倾向的人具有较高的事故率，而与工作任务、生活环境和经历等无关。

1936 年，海因里希提出了应用多米诺骨牌原理研究人身受到伤害的五个顺序过程，即伤亡事故顺序五因素。

1953 年，巴尔将上述骨牌原理发展为“事件链”理论，认为事故的前级诸致因因素是一系列事件的链锁，一环生一环，一环套一环。链的末端是事件后果，即事故和损失。

1961 年，美国的沃森提出了以逻辑分析中的演绎分析法和逻辑电路的逻辑门形式绘制事故模型。

由于火箭技术发展的需要，系统安全工程应运而生。美国在 1962 年 4 月首次公开了“空军弹道导弹系统安全工程”的说明书。1965 年，Kolonier 在安全性量化的论文中，系统地介绍了故障树分析（FTA）；同年 Recht 也介绍了 FTA 和 FM&E（故障类型和影响）。这些系统安全分析方法，实质上是事件链理论的发展。1970 年 Driessen 明确地将事件链理论发展为分支事件过程逻辑理论。FTA 等树枝图形，实质上是分支事件过程的解析。

在 1961 年由 Gibson 提出的，并在 1966 年由 Haddon 完善的“能量转移论”指出了人体受到伤害，只能是能量转移的结果，从而明确了事故致因的本质是能量逆流于人体。

1969 年，J·瑟利提出了 S—O—R 人因素模型，该模型包括两组问题（危险构成和显现危险），每组又分别包括三类心理—生理成分即对事件的感知、刺激（S）；对事件的理解、响应和认识（O）；生理行为、响应或举动（R）。这是系统理论的人为因素致因模型。

1972 年毕纳（Benner）提出了起因于“扰动”而促成事故的理论，即 P 理论（Perturbation Occurs），进而提出“多重线性事件过程图解法”。扰动起源论把事故看成是相继发生的事件过程，以破坏自动调节的动态平衡，“扰动”为起源事件，以伤害或损坏而告终（终了事件）。该理论指出了事故发生是由于系统运行中出现了失衡而扰动，并由于扰动失控而造成的。在发生事故前改善环境条件，使之自动动态平衡，砍断向事故后果发展的链条，即可防止事故发生。

1972年威格勒沃茨提出了以人失误为主因的事故模型（人因事故模型），主要以人的行为失误构成伤害为基础，指出人如“错误地或不适当地响应刺激”就会发生失误，从而可能导致事故发生。

1974年劳汶斯根据上述理论发展了能适用于自然条件复杂的、连续作业情况下的“矿山以人失误为主因的事故模型”。

1975年约翰逊从管理角度出发提出了管理失误和危险树（MORT），把事故致因重点放在管理缺陷上，指出造成伤亡事故的本质原因是管理失误。

近二十几年来，许多学者较一致地认为，事故的直接原因不外乎人的不安全行为（或失误）和物的不安全状态（或故障）两大因素作用的结果。即人与物两系列运动轨迹的交叉点就是发生事故的“时空”，“轨迹交叉论”应运而生。

我国的安全同行专家在事故致因理论上的综合研究也做了大量工作。认为事故是多种因素综合造成的，是社会因素、管理因素和生产中危险因素被偶然事件触发而形成的伤亡和损失的不幸事件。事故致因的本质是基础原因。“综合论”是目前较为受重视的事故致因理论。

1.3.2.2 几个较为流行的主要事故致因理论

(1) 因果论

事故因果论是事故致因的重要理论之一。事故因果类型有集中型、连锁型和复合型，还有多层次型等。

集中型。几个原因各自独立，共同导致事故发生，即多种原因在同一时序共同造成一个事故后果的，叫“集中型”，见图 1-1。

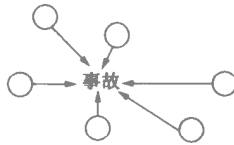


图 1-1 多因致果集中型

连锁型。有一原因要素促成下一要素发生，因果连锁发生的事故，叫“连锁型”，见图 1-2。



图 1-2 因果连锁型

某些因果连锁，又有一系列原因集中，复合成事故结果，叫“复合型”。单纯的集中，或单纯的连锁型均较少，事故的发生多为复合型的，见图 1-3。

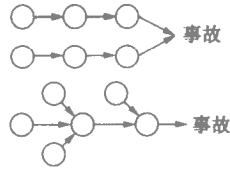


图 1-3 集中、连锁复合型

因果是继承性的，且多层次。一次原因是二次原因的结果，二次原因又是三次原因的结果，余类推，见图 1-4。

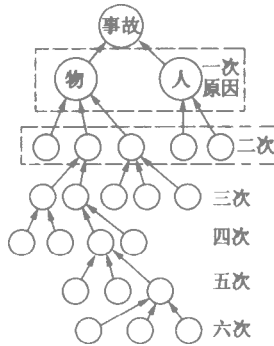


图 1-4 因果继承性示意图

多米诺骨牌模型是事故因果论的主要模型之一。它是应用多米诺骨牌原理来阐述事故因果理论。

一种可防止的伤亡事故的发生，是一连串事件在一定顺序下发生的结果。按因果顺序，伤亡事故的五因素如图 1-5 所示。社会环境和管理欠缺（ A_1 ），促成人为的过失（ A_2 ），人为的过失又造成了不安全动作或机械、物质危害（ A_3 ），后者促成了意外事故（ A_4 、包括未遂事故）和由此产生的人身伤亡的事件（ A_5 ）。

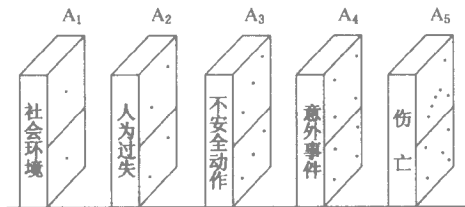


图 1-5 伤亡事故五因素

伤害之所以产生是由于前面因素的作用，防止伤亡事故的着眼点，应集中于顺序的中心，即设法消除事件 A_3 ，使系列中断，则伤害便不会发生（如

图 1-6)。

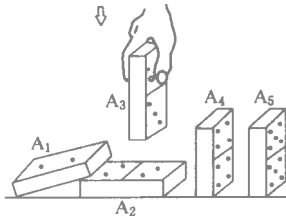


图 1-6 移去中央因素使系列中断,使前级因素失去作用

要防止事故,就应知道引起事故的本质原因。为防止同类事故再次发生,必须根据现场实际情况进行调查追踪。明了事故原因的追踪系统,这对防止误作事故原因的结论,防止将预防措施引至错误的方向,都有着十分重要的意义。

伤亡事故原因追踪程序参见图 1-7。深入调查研究 确认事实真相 从中发现新问题并使之系统化 探求本质原因 采取预防措施 实施安全生产。

组织事故调查,正确把握事故真相,关键是对客观事实的确认。为此,一定要找出事故现场的目击者;对事故留下的痕迹进行理化分析;听取受害人的陈述;做记录和拍照,以使用第一手材料提出新问题,探求出本质原因,采取切实可行的预防措施,做到安全生产。

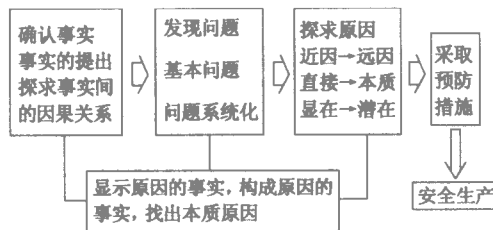


图 1-7 按因果论追踪事故原因

事故因果新论

博德在海因里希提出的多米诺骨牌模型的基础上,提出了反映现代安全观点的事故因果新论,其内容主要包括如下几点:

a. 控制不足(管理缺陷)。事故因果连锁中一个最重要的因素是安全管理。安全管理人员的工作应以企业现代管理原则为基础,实施控制这一管理机能。安全管理中的控制是指损失控制,人的不安全行为和物的不安全状态的控制。它是安全管理工作的核心。发生事故的基本原因是控制不足,管理上的缺陷。

b. 基本原因(起源论)。所谓起源论,是在于找出发事故的基本的、背景的、本质的原因,而不仅停留在表面的现象上,找到事故起源,才能实现有效地

控制。为了从根本上预防事故，必须查明事故的基本原因，并依此采取对策。基本原因包括个人原因、工作条件、工作方法、劳动环境以及管理上的原因。

c. 直接原因（征兆）。不安全行为或不安全状态是事故的直接原因。直接原因只是深层原因的征兆，是基本原因的表面现象。安全管理应善于从属于直接原因的表面征兆去追究背后隐藏的深层原因，采取恰当的长期的控制对策。

d. 事故（接触）。从能量的观点，事故是人的身体或构筑物、设备与超过其阈值的能量的接触。为了防止这一触发事故的接触，可以改进装置、材料及设施防止能量释放，通过安全教育和培训以提高工人识别危险的能力，佩戴个人防护用具。

e. 伤害（损坏或损失）博德的模型中的伤害，包括工伤、职业病，以及对人员精神方面、神经方面或全身性的不利影响。人员伤害及财物损坏，统称为损失。可以采取有力的保护、救护措施使事故损失最大限度地减少。例如，对受伤人员的迅速抢救，扑灭爆炸、火灾，控制灾害不使之扩大，抢修设备，平时对人员加强应急训练。

(2) 轨迹交叉论

轨迹交叉论是强调人的不安全行为和物的不安全状态相互作用的事事故致因理论。在系统中人的不安全行为是一种人为失误；物的不安全状态多为机械故障和物的不安全放置；人与物两系统一旦发生时间和空间上的轨迹交叉就会造成事故。

轨迹交叉论把人、物两系列看成两条事件链，两链的交叉点就是发生事故的“时空”。在多数情况下，由于企业安全管理不善，使工人缺乏安全教育和训练，或者机械设备缺乏维护、检修以及安全装置不完善，导致了人的不安全行为或者物的不安全状态。后由起因物引发施害物再与人的行动轨迹相交，构成了事故，见图 1-8。

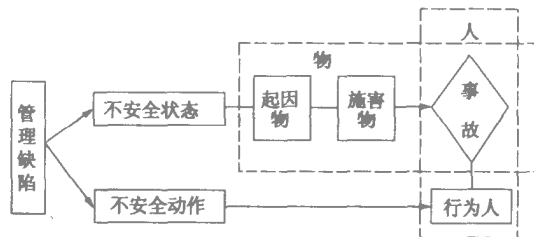


图 1-8 人与物两系列形成事故的系统

若加强安全教育和技术训练，进行科学的安全管理，从生理、心理和操作技能上控制不安全行为的产生，就是砍断了导致伤亡事故发生的人这方面的事件链。加强设备管理，提高机械设备的可靠性，增设安全装置、保险装置和信号装

置以及自控安全闭锁设施，就是控制设备的不安全状态，砍断了设备方面的事件链。

(3) 事故能量转移论

事故能量转移论是事故致因理论另一重要理论。现代科学技术的飞跃发展，新能源、新材料、新技术不断出现，新的危险源也给人们带来更多的伤亡危险。为了有效地采取安全技术措施控制危险源，人们对事故发生的机理——物理、化学本质进行了深入的探讨，认为事故是一种不正常的或不希望的能量释放。

能量在人类的生产、生活中是不可缺少的，人类利用各种形式的能量做功以实现预定的目的。能量驱动机械设备运转，把原料加工成产品。利用能量必须控制能量，使能量按照人的意图传递、转换和做功。如果由于某种原因能量失去控制，能量就会违背人的意愿发生意外的释放或逸出，造成生产过程中止，发生事故。如果意外释放的能量逆流于人体，超过人的承受能力，则将造成人员伤亡；如果意外释放的能量作用于设备、构筑物、物体等，超出物的抵抗能力，将造成物的损坏。

输送到生产现场的能量是具有做功本领的物理量，它们可以相互转变为各种形式，如势能、动能、热能、化学能、电能、原子能、辐射能、声能和生物能等。

势能和动能均属于机械能。意外释放的机械能是造成事故的主要类型的能量。意外释放的电能可使人员受到电击、电灼伤及电火花引爆可燃物质或电气火灾。火灾是热能意外释放造成的最典型事故。热能有时从机械能、电能、化学能等转化而产生。

相当多的物质具有导致人体急、慢性中毒、致病、致畸、致癌。火灾中的化学能转变为热能；爆炸中的化学能转变为机械能和热能等。

人体自身也是一个能量系统。人进行生产、生活活动时消耗能量，当人体与外界的能量交换受到干扰时不能进行正常新陈代谢，人员将受到伤害，如高温、寒冷、潮湿、高空等作业条件或气象条件也是一种能量逆流于人体而对人造成伤害。

从这个能量意外释放而造成事故的观点而言，控制好能量就是控制了工伤事故；管理好能量防止其逆流，也就是管理好安全生产。

防护能量逆流于人体的典型系统可大致分为 12 个类型：

限制能量的系统，如限制能量的速度和大小，规定极限量和使用低压测量仪表等等；

用较安全的能源代替危险性大的能源；

防止能量蓄积，如控制爆炸性气体的浓度、应用低高度的位能等；

控制能量释放；

- 延缓能量释放，如采用安全阀、逸出阀，以及应用某些器件吸收振动等；
- ⑥ 开辟释放能量的渠道，如接地电线等；
 - ⑦ 在能源上设置屏障；
 - ⑧ 在人物与能源之间设屏障，如防火罩、防火门等；
 - ⑨ 在人与物之间设屏蔽，如安全帽、安全鞋和手套、口罩等个人防护用具等；
 - ⑩ 提高防护标准，如采用双重绝缘工具、低电压回路、连续监测和远距离遥控等；
 - ⑪ 改善效果及防止损失扩大；如改变工艺流程，变不安全为安全流程，做好急救；

⑫ 修复或恢复。治疗、矫正以减轻伤害程度或恢复原有功能。

要注意，一定量的能量集中于一点要比它大面铺开所造成的伤害程度更大。因此可以通过延长能量释放时间，或使能量在大面积内消散的方法以降低其危害的程度。如对于需要保护的人和财产应用距离防护，远离释放能量的地点，以此来控制由于能量转移而造成的伤亡事故。在危险化学品生产中要加强对能量的控制，使其保持在容许限度之内，保证生产安全。

(4) 事故扰动起源论

事故扰动起源论又称“P理论”。

任何事故当它处于萌芽状态时就有某种扰动（活动），称之为起源事件。事故形成过程是一组自觉或不自觉的，指向某种预期的或不测结果的相继出现的事件链。这种进程包括外界条件及其变化的影响。相继事件过程是在一种自动调节的动态平衡中进行的。如果行为者行为得当或受力适中，即可维持能流稳定而不偏离，达到安全生产；如果行为者的行为不当或发生故障，则对上述平衡产生扰动，就会破坏和结束自动动态平衡而开始事故的进程，导致终了事件（伤害或损坏）。这种伤害或损坏又会依次引起其他变化或能量释放。于是，可以把事故看成从相继的事故事件过程中的扰动开始，最后以伤害或损坏而告终。

1.3.3 事故预防原理

1.3.3.1 海因里希事故法则及工业安全公理

(1) 海因里希事故法则

美国安全工程师海因里希（Heinrich）曾统计了 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。这个比例关系说明，在机械生产过程中，每发生 330 起意外事件，有 300 起未产生伤害，29 起引起轻伤，有 1 起是重伤或死亡。这就是著名的海因里希事故法则。

不同的行业，不同类型的事故，无伤、轻伤、重伤的比例不一定完全相同，但是这个统计规律告诉人们，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，而要防止重大伤亡事故必须减少和消除无伤害事故，这也是事故预防的重要出发点。

(2) 海因里希工业安全公理

海因里希在《工业事故预防》一书中提出了“工业安全公理”，该公理包括 10 项主要内容，又称为“海因里希 10 条”。

工业生产过程中人员伤亡的发生，往往是处于一系列因果连锁的末端的结果；而事故常常起因于人的不安全行为和（或）机械、物质（统称为物）的不安全状态。

人的不安全行为是大多数工业事故的原因。

由于不安全行为而受到了伤害的人，几乎重复了 300 次以上没有造成伤害的同样事故。即人在受到伤害之前，已经经历了数百次来自物方面的危险。

在工业事故中，人员受到伤害的严重程度具有随机性质。大多数情况下，人员在事故发生时可以免遭伤害。

人员产生不安全行为主要有以下原因：a. 不正确的态度；b. 缺乏知识或操作不熟练；c. 身体状况不佳；d. 物的不安全状态或不良的环境；这些原因是采取措施预防不安全行为的重要依据。

⑥ 防止工业事故的四种有效的方法是：工业技术方面的改进；对人员进行说服、教育；人员调整；惩戒。

⑦ 防止事故的方法与企业生产管理、成本管理及质量管理的方法类似。

⑧ 企业领导者有进行事故预防工作的能力，并且能把握进行事故预防工作的时机，因而应该承担预防事故工作的责任。

⑨ 专业安全人员及车间干部、班组长是预防事故的关键，他们工作的好坏对能否做好事故预防工作有影响。

⑩ 除了人道主义动机之外，下面两种强有力的经济因素也是促进企业事故预防工作的动力：a. 安全的企业生产效率必然高，不安全的企业生产效率必然低；b. 事故后用于赔偿及医疗费用的直接经济损失，只不过占事故总经济损失的 20%。

1.3.3.2 预防事故的五大原理

(1) 可能预防的原理。事故一般是人灾，与天灾不同；人灾是可以预防的；要想防止事故发生，应立足于防患于未然。因而，对事故不能只考虑事故发生后的对策，必须把重点放在事故发生之前的预防对策。安全要强调以预防为主方针，正是基于事故是可能预防的这一原则上的。

(2) 偶然损失的原理。事故的概念，包括着两层意思：一是发生了意外事件；

二是因事故而产生的损失。事故的后果将造成损失。损失包括人的死亡、受伤致残、有损健康、精神痛苦等；损失还包括物质方面的，如原材料、成品或半成品的烧毁或者污损，设备破坏、生产减退，赔偿金支付以及市场的丧失等。可以把造成人的损失的事故，称之为人事事故；造成物的损失事故称之为物的事故。

一个事故的后果产生的损失大小或损失种类由偶然性决定。反复发生的同种类事故，并不一定造成相同的损失。也有在发生事故时并未发生损失，无损失的事故，称为险肇事故。即便是像这样避免了损失的危险事件，如再次发生，会不会发生损失，损失又有多大，只能由偶然性决定、而不能预测。因此，为了防止发生大的损失，惟一的办法是防止事故的再次发生。

(3) 继发原因的原理。事故与原因是必然的关系；事故与损失是偶然的的关系。继发原因的原则就是因果关系继承性。“损失”是事故后果；造成事故的直接原因是事故前时间最近的一次原因，或称近因；造成直接原因的原因叫间接原因，又称二次原因；造成间接原因的更深远的原因，叫基础原因，也称远因。这个事故原因继发连锁关系如下：

基础原因 → 二次原因 → 一次原因 → 事故 → 损失

(远因) (间接原因) (直接原因) (现象) (后果)

直接原因又进一步分为人的原因和物的原因两类；物的原因是指由于环境不良或设备、物的不安全状态而引起事故的原因；人的原因是指由人的不安全行为引起的。

间接原因又可再分为五个方面：

技术方面的原因； 教育方面的原因； 身体方面的原因； 心理方面的原因； 管理方面的原因。

切断事故原因链，就能够防止事故发生，即实施防止对策。选择适当的防止对策，取决于正确的事故原因分析。即使去掉了直接原因，只要残存着间接原因，同样不能防止新的直接原因再发生。所以，作为最根本的对策是深刻分析事故原因，在直接原因的基础上追溯到二次原因和基础原因，研究从根本上消除产生事故的根源。

(4) 选择对策的原理。针对原因分析中造成事故的原因，采取相应防止对策为：

工程技术 (Engineering)。运用工程技术手段消除不安全因素，实现生产工艺、机械设备等生产条件的安全；

教育 (Education)。利用各种形式的教育和训练，使职工树立“安全第一”，的思想，掌握安全生产所必需的知识和技能；

强制 (Enforcement)。借助于规章制度、法规等必要的行政、乃至法律的手段约束人们的行为。

上述三点被称为“3E 对策”，是防止事故的三根支柱。借助于规章制度、法规等必要的行政、乃至法律的手段约束人们的行为。

一般地讲，在选择安全对策时应该首先考虑工程技术措施，然后是教育、训练。实际工作中，应该针对不安全行为和不安全状态的产生原因，灵活地采取对策。例如，针对职工的不正确态度问题，应该考虑工作安排上的心理学和医学方面的要求，对关键岗位上的人员要认真挑选，并且加强教育和训练，如能从工程技术上采取措施，则应该优先考虑；对于技术、知识不足的问题，应该加强教育和训练，提高其知识水平和操作技能；尽可能地根据人机学的原理进行工程技术方面的改进，降低操作的复杂程度。为了解决身体不适的问题，在分配工作任务时要考虑心理学和医学方面的要求，并尽可能从工程技术上改进，降低对人员素质的要求。对于不良的物理环境，则应采取恰当的工程技术措施来改进。

即使在采取了工程技术措施，减少、控制了不安全因素的情况下，仍然要通过教育、训练和强制手段来规范人的行为，避免不安全行为的发生。

预防事故发生最适当的对策是在原因分析的基础上得出来的，以间接原因及基础原因为对象的对策是根本的对策。采取对策越迅速、越及时而且越确切落实，事故发生的概率越小。

(5) 危险因素防护原理。

消灭潜在危险。用高新技术消除劳动环境中的危险和有害因素，从而保证生产系统最大可能的安全性和可靠性。

降低危险因素水平（值）的原则。当不能根除危险因素时，应采取降低危险和有害因素的数量，如加强个体防护、降低粉尘、毒物的个人吸入量。

距离防护。生产中的危险和有害因素的作用，依照与距离有关的某种规律而减弱。如防火间距，防止爆破冲击波等均应用增大安全距离以减弱其危害。采用自动化、遥控，使作业人员远离危险区域就是应用距离防护原则的安全方向。

时间防护。这一原则是使人处在危险和有害因素作用的环境中的时间缩短到安全限度之内。

屏蔽原则。指在危险和有害因素作用的范围内设置屏障，防范危险和有害因素对人的侵袭。

⑥ 坚固原则。指提高结构强度，增大安全系数。

⑦ 薄弱环节原则。指利用薄弱原件，使它在危险因素尚未达到危险值之前已预先破坏，例如保险丝、安全阀、爆破片等。

⑧ 不与接近原则。指人不落入危险和有害因素作用的地带，或者在人操作的地带中消除危险物的落入，例如安全栏杆、安全网等。

⑨ 闭锁原则。这一原则是以某种方式保证一些元件强制发生相关作用，以