

安全工程高级人才培养教材

事故理论 与分析技术

王凯全 邵辉 等编



化学工业出版社
教材出版中心

安全工程高级人才培养教材

事故理论 与分析技术

王凯全 邵辉 等编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

事故理论与分析技术/王凯全, 邵辉等编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 4

安全工程高级人才培养教材

ISBN 7-5025-5495-5

I. 事… II. ①王… ②邵… III. ①事故-理论-教材 ②事故分析-教材 IV. X928

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 034795 号

安全工程高级人才培养教材

事故理论与分析技术

王凯全 邵 辉 等编

责任编辑: 何曙霓

文字编辑: 操保龙 闫 敏

责任校对: 李 林

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京兴顺印刷厂印刷

北京兴顺印刷厂装订

开本 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 292 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5495-5/G · 1434

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书从事故及其预防、事故归因理论、事故原因分析、事故后果分析、事故应急救援、事故管理六个方面对事故理论及分析技术进行了详细系统地介绍，并结合大量案例分析了典型事故原因、性质、责任以及教训等。

本书内容全面、系统，既有理论研究的价值，又有生产指导意义，可作为相关研究人员参考手册，或作为相关专业学生教材使用。

序

安全工程高级人才培养教材〈套书〉就要正式出版了。〈套书〉全面收集和总结了几十年来工业生产过程，特别是化工、石油化工、冶金化工、制药工业、生物工程、建材工业等为代表的流体工业生产体系安全生产领域的经验和知识，吸取了国外的经验和教训。国内 20 余位有较高学术理论水平和丰富经验的专家、教授、学者做出了极大的努力，他们以广博的知识了解历史，了解世界，分析过去，总结现在，为〈套书〉的编写克服种种困难，汇集几十年来积累的知识和经验，调用现代信息工具，查阅大量资料，结合教学、科研和社会实践，伏案整理写作，反复修改，最终使〈套书〉的编写工作基本完成，得以陆续出版。

〈套书〉的内容涵盖了安全工程与科学基础理论及概念、燃烧爆炸理论与技术、物质危险性原理及测控技术、化工工艺及安全、化工安全设计、工业系统安全评价及风险分析、安全工程鉴定技术与实验技术、灾害事故理论与分析技术、管道及压力容器安全技术、电气与静电安全技术、工业危害与控制技术等，在安全工程与科学领域，尤其是在化工安全生产领域，涉及安全科学理论、安全技术与工程，其内容之广泛、结构之系统都是中华人民共和国建国以来仅有的。〈套书〉是这些专家、教授、学者辛勤劳动的结晶，是他们共同合作的丰硕成果，是他们学识和智慧的总结。在〈套书〉出版之际向为〈套书〉做出贡献的作者以及为〈套书〉提供资料和方便条件的单位和同志们表示衷心感谢。

〈套书〉的正式出版发行，一定会为我国经济建设中培养安全技术与工程高级人才，特别是为化工、石油化工等工业体系培养安全技术与工程高级人才做出贡献。

安全工程高级人才培养教材〈套书〉

编辑委员会

2004 年 3 月

前 言

安全生产是人类追求的目标。一方面，随着社会的发展和人类的进步，人们对安全的期望水平在不断提高，对各类生产过程中危险因素的承受能力在不断降低；另一方面，随着新的生产方式、生产技术的出现和生产规模的扩大，新的危险因素在不断产生，事故的危害程度在不断增加。在安全问题上，人们的要求和生产的现实之间的差距，迫使人们必须对一切生产活动中的各类事故引起足够重视。

本书是在多年教学和科研的基础上，结合近年来事故分析和安全管理技术的发展状况，以及广大安全技术和管理人员进行知识更新的需要而编写的。全书共分为七章，主要内容包含事故及其预防的基本概念、事故归因理论、事故原因分析、事故后果分析、事故应急和预案、事故管理以及典型事故案例分析等知识。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事故过程中的具体问题相结合，既注意提高事故相关的理论水平，又注重解决事故分析和安全管理中的实际问题，在对理论和分析方法的阐述中强调完整性和实用性。本书可供从事安全技术及管理的人员使用，也可供安全技术及工程专业师生学习和参考。

本书第1章、第6章由王凯全同志编写，第2章由赵庆贤同志编写，第3章由邵辉同志编写，第4章、第7章由王晓宇同志编写，第5章由徐炜同志编写。王凯全同志承担统稿工作。在编写过程中，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，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者
2004年3月

目 录

1 事故及其预防	1
1.1 事故的基本概念	1
1.1.1 事故	1
1.1.2 事故的特性	2
1.1.3 事故发生概率与后果严重度	3
1.2 事故预防的基本概念	7
1.2.1 事故预防理论	7
1.2.2 事故预防技术	11
1.2.3 以安全文化为基础的事故预防	14
1.2.4 防止人失误和不安全行为	15
2 事故归因理论	19
2.1 超自然归因理论	20
2.2 单一因素归因理论	20
2.2.1 事故频发倾向论	20
2.2.2 事故遭遇倾向论	22
2.2.3 海因里希因果连锁论	24
2.3 人物合一归因理论	26
2.3.1 轨迹交叉论	26
2.3.2 能量意外释放论	29
2.3.3 现代因果连锁理论	35
2.4 系统归因理论	38
2.4.1 危险源系统论	38
2.4.2 危险源辨识、控制与评价	41
2.5 事故归因辩证法	44
2.5.1 事故归因系统观	44
2.5.2 事故归因变化发展观	46

2.5.3 事故归因混沌观	50
---------------------	----

3 事故原因分析	51
-----------------------	-----------

3.1 事故分析的概念	51
3.1.1 事故分析技术分类	51
3.1.2 事故分析的理解	53
3.1.3 事故分析中的危险接触源	54
3.1.4 事故分析的过程	56
3.2 事故原因调查	58
3.2.1 事故原因模型	58
3.2.2 事故原因调查应注意的事项	59
3.2.3 事故原因调查的步骤	60
3.2.4 针对事故内容的原因分析	64
3.2.5 特别事故的调查项目	67
3.3 事故模拟中的人为因素	69
3.3.1 人失误的性质分析	69
3.3.2 人失误的模式分析	70
3.3.3 事故中的人为因素	71
3.3.4 人为因素在事故和事故预防中的作用	72
3.4 事故危险的动态模型	74
3.4.1 事故原因和预防危险的动态平衡理论	74
3.4.2 危险的动态平衡过程模拟	75
3.4.3 事故预防的动力	77
3.4.4 操作的适应对事故预防的作用	78
3.5 事故模拟	78
3.5.1 Hale 和 Glendon 模型	79
3.5.2 Hale 和 Glendon 模型的意义	80
3.5.3 以技术、规章和知识为基础的操作之间的联系	83
3.6 事故序列模型	84
3.6.1 Surry 模型	84
3.6.2 工作环境基金 (WEF) 模型	85
3.7 事故偏差模型	88
3.7.1 与偏差有关的术语	88
3.7.2 偏差的分类	89
3.7.3 事故偏差模型的应用	90
3.8 事故信息模型	91

3.8.1	MAIM 事故信息模型	91
3.8.2	MAIM 模型的应用	93
3.9	事故原点分析技术	96
3.9.1	事故原点的概念及事故原点的确定方法	96
3.9.2	事故调查技术	99
3.9.3	事故的数理分析及事故过程分析	103
3.10	事故综合分析	106
3.10.1	化学工业危险因素的综合分析	106
3.10.2	日本炼油工业火灾爆炸事故分析	109
3.10.3	日本化工厂爆炸火灾事故分析	110
3.10.4	我国炼油厂前 30 年火灾爆炸的典型事故分析	111
4	事故后果分析	113
4.1	泄漏事故后果分析	113
4.1.1	泄漏的主要设备	113
4.1.2	泄漏的原因	115
4.1.3	泄漏后果及泄漏控制	116
4.1.4	泄漏量计算	117
4.1.5	泄漏后的扩散	119
4.2	火灾事故后果分析	125
4.2.1	池火	126
4.2.2	喷射火	127
4.2.3	火球与气爆	128
4.2.4	突发火	129
4.3	爆炸事故后果分析	129
4.3.1	物理爆炸的爆炸能	130
4.3.2	冲击波影响范围	131
4.3.3	碎片能量及碎片打击	132
4.4	中毒事故后果分析	133
4.4.1	毒物泄漏后果的概率函数法	134
4.4.2	有毒液化气体容器破裂时的毒害区估算	135
4.4.3	有毒介质喷射泄漏时的毒害区估算	137
5	重大事故应急救援	138
5.1	概述	138

5.1.1	引言	138
5.1.2	国内外的概况	140
5.2	应急救援	146
5.2.1	应急救援的原则和任务	146
5.2.2	应急救援系统的组织结构	147
5.2.3	应急救援装备与资源	148
5.2.4	应急救援的实施	151
5.3	事故应急救援预案	154
5.3.1	概述	154
5.3.2	事故应急救援预案的目的和基本要求	155
5.3.3	事故应急救援预案的分级	155
5.3.4	事故应急救援预案的基本要素	156
5.3.5	事故应急救援预案的编制步骤	158
5.4	应急救援培训、训练与演习	173
5.4.1	应急培训、训练与演习的指导思想及基本任务	173
5.4.2	应急培训	174
5.4.3	应急训练与演习	175

6	事故管理	178
6.1	事故分类	178
6.1.1	人身伤亡事故分类	178
6.1.2	非人身伤亡事故分类	180
6.1.3	责任事故和非责任事故分类	180
6.2	事故评级指标和等级	180
6.2.1	事故发生频率指标	180
6.2.2	事故后果严重度指标	181
6.2.3	石油化工业事故后果严重率指标	182
6.3	事故的经济损失	182
6.3.1	伤亡事故直接经济损失与间接经济损失	183
6.3.2	我国对伤亡事故直接经济损失和间接经济损失的划分	184
6.3.3	伤亡事故直接经济损失与间接经济损失的比例	184
6.3.4	伤亡事故经济损失计算方法	185
6.4	事故调查和处理	190
6.4.1	事故发生后的处置	190
6.4.2	事故调查	191
6.4.3	事故原因的确定	193

6.4.4	事故责任的追究	194
6.4.5	事故报告和资料处置	195
7	典型事故案例分析	197
7.1	黄岛油库“8.12”特大火灾事故分析	197
7.1.1	事故概况	197
7.1.2	事故原因及分析	198
7.1.3	吸取事故教训,采取防范措施	201
7.1.4	事故有关人员的处理	202
7.2	深圳市清水河化学危险品仓库“8.5”特大爆炸火灾事故分析	202
7.2.1	事故概况	202
7.2.2	事故发生发展过程及原因分析	202
7.2.3	事故性质和责任	205
7.2.4	结论	207
7.3	南京炼油厂“10.21”爆炸事故分析	208
7.3.1	事故经过	208
7.3.2	事故原因的分析	208
7.3.3	事故原因的认定	211
7.3.4	事故教训	212
7.4	北京东方化工厂“97.6.27”特别重大事故分析	213
7.4.1	事故概况	213
7.4.2	事故原因分析	213
7.4.3	事故教训	216
7.5	陕西兴化集团公司“1.6”特大爆炸事故分析	217
7.5.1	事故发生经过	217
7.5.2	事故抢救及调查情况	219
7.5.3	事故原因分析	220
7.5.4	建议	222
7.5.5	防范措施	223
7.6	中国兵器工业集团公司八〇五厂“9.2”事故分析	224
7.6.1	事故概况	224
7.6.2	事故经过	224
7.6.3	事故原因分析	225
7.6.4	事故性质	227
7.6.5	事故责任和处理意见	227
7.6.6	事故教训与建议	228

7.7 联合碳化物印度有限公司（UCIL）异氰酸甲酯毒气泄漏事故分析 229

7.7.1 事故过程 229

7.7.2 事故原因分析 231

7.7.3 事故后果 232

7.8 切尔诺贝利核电站爆炸事故分析 232

7.8.1 事故经过 232

7.8.2 事故原因分析 234

7.8.3 事故后果 235

参考文献 237

1

事故及其预防

事故是在生产活动过程中，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例序列。化工和石油化工是现代生产过程中危险源最集中、危险性最高的行业之一。其生产中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，自动化程度高，技术复杂，设备种类繁多，极易发生具有严重破坏性的火灾、爆炸、毒物泄漏等重大事故，迫使化工和石油化工生产系统暂时或较长期地中断运行，造成人员伤亡或者财产损失，严重威胁职工的生命和国家财产的安全。近年来随着石油化工生产规模的不断扩大，生产中的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。

安全工作的基本任务是防止各类事故的发生，避免或减少事故造成的人员伤亡和财产损失。为了预防事故，控制事故的损失，我们要研究事故及其发生、发展的规律。

1.1 事故的基本概念

1.1.1 事故

事故是发生在人们的生产、生活活动中的意外事件。在事故的种种定义中，伯克霍夫（Berckhoff）的定义较著名。

伯克霍夫认为，事故是个人或集体在为实现某种意图而进行的活动过程中，突然发生的、违反人的意志的、迫使活动暂时或永久停止的事件。事故的含义包括以下几方面。

① 事故是一种发生在人类生产、生活活动中的特殊事件，人类的任何生产、生活活动过程中都可能发生事故。

② 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，因而事故的发生具有随机性质。在一起事故发生之前，人们无法准确地预测什么时候、什么地方会发生什么样的事故。

③ 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。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。

事故这种意外事件除了影响人们的生产、生活活动顺利进行之外，往往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。在这个意义上说，事故是在生产、生活活动过程中突然发生的、违反人们意志的、迫使活动暂时或永久停止的并可能造成人员伤亡、财产损失或环境污染的意外事件。

事故和事故后果（Consequence）是互为因果的两件事情：由于事故的发生产生了某种事故后果。但是在日常生产、生活中，人们往往把事故和事故后果看作一件事件，这是不正确的。之所以产生这种认识，是因为事故后果，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；相反的，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。

因此，人们应从防止事故发生和控制事故的严重后果两方面来预防事故。

1.1.2 事故的特性

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，以致发生事故。

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 1-1 所示。

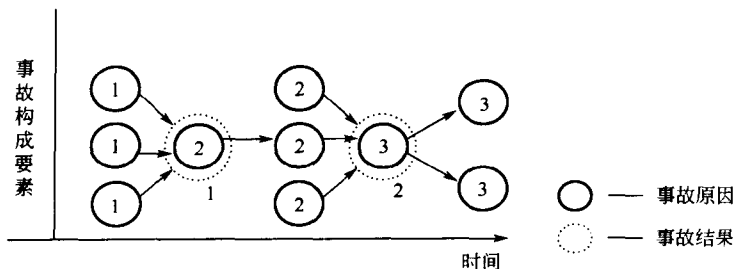


图 1-1 事故的因果关系

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，化险为夷的。事故的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故和事故后果的原因。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 事故的随机性是说事故的发生是偶然的。同样的前因事件随时间的进程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。

(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，明察秋毫，在任何情况下都要把安全放在第一位。

1.1.3 事故发生概率与后果严重度

人们是通过评价事故发生概率的大小和事故一旦发生，其后果的严重程度两个方面来评价事故的危险性的。

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，系统发生事故次数与系统正常工作次数的比值。即

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

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

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 (1-1) 可称为事故的时间概率，式 (1-2) 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。

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和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。

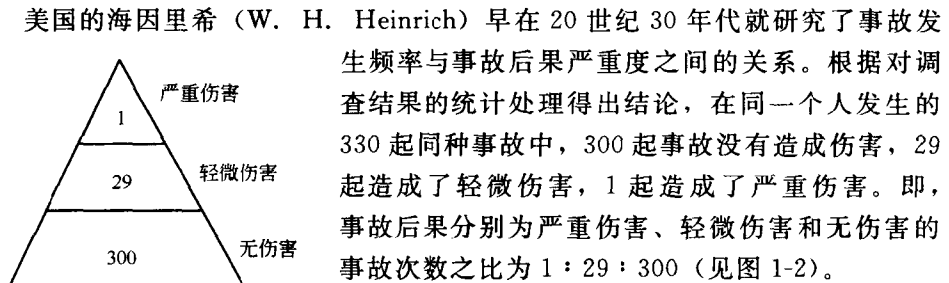


图 1-2 事故后果

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，而事故后无伤害的情况是大量的。

该法则提醒人们，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因素。在事故预防工作中，避免严重伤害应该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。

比例 1 : 29 : 300 表明,事故发生后其后果的严重程度具有随机性质,或者说其后果的严重度取决于机会因素。因此,一旦发生事故,控制事故后果的严重度是一件非常困难的工作。为了防止严重伤害的发生,应该全力以赴地防止事故的发生。

继海因里希之后,许多人围绕这个问题进行了大量的研究工作。博德(F. E. Bird)于 1969 年调查了北美保险公司承保的 21 个行业的拥有 175 万职工的 297 家企业的 1753498 起事故,通过对调查结果的统计发现,对于每一起严重伤害,相应地发生 9.8 起轻微伤害,30.2 起财产损失事故。他还通过与工人谈话了解到许多没有造成人员伤害和财产损失的事故。最后,博德得到的严重伤害、轻微伤害、财产损失和无伤害事故的比例为 1 : 10 : 30 : 600。博德的研究成果特别提醒人们不要忽略由于事故造成的财产损失。

比例 1 : 29 : 300 是根据同一人发生同种事故的后果统计得到的结论,以此可以定量地表示事故发生频率与事故后果严重度之间的一般关系。对于不同的事故类型,这种比例关系也可能不同。表 1-1 为美国对不同事故发生频率与后果严重度的统计结果。

表 1-1 美国统计的不同事故发生频率与后果严重度的关系

事故类型	暂时失能伤害(%)	永久部分失能伤害(%)	永久全部失能伤害(%)
运输	24.3	20.9	5.6
坠落	18.1	16.2	15.9
物体打击	10.4	8.4	18.1
机械	11.9	25.0	9.1
车辆	8.5	8.4	23.0
手工工具	8.1	7.8	1.1
电气	3.5	2.5	13.4
其他	15.2	10.8	13.8

值得注意的是,对于某种特定的事故来说,防止轻伤事故则可以防止严重伤害事故,减少事故发生频率可以减少严重伤害。但是笼统地认为减少事故发生频率即可避免严重伤害是错误的。例如,据美国的资料,某州 10 年间事故总数减少了 33%,而遭受严重伤害的人数却增加了。根据统计资料分析,只在少数情况下,减少事故发生频率可以相应地减少严重伤害。

在安全科学研究中,经常以事故后果严重度(死亡人数、经济损失金额)为