

安 全 原 理

隋鹏程 陈宝智 隋 旭 编著



化学工业出版社
安全科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

安全原理/ 隋鹏程, 陈宝智, 隋旭编著. —北京:
化学工业出版社, 2005. 2
ISBN 7-5025-6667-8

. 安... . 隋... 陈... 隋... . 安全
科学 . X9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 011172 号

安 全 原 理

隋鹏程 陈宝智 隋旭 编著
责任编辑: 郭乃铎 朱亚威 杜进祥
责任校对: 李丽 李军
封面设计: 关飞

*

化 学 工 业 出 版 社 出 版 发 行
安全科学与工程出版中心
(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](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订
开本 720mm × 1000mm 1/16 印张 29 字数 567 千字
2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-6667-8/X · 586
定 价: 58.00 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

前言

根据国际劳工组织 (ILO) 统计, 全世界每天因职业事故死于工作场所的和因职业病而死亡的人数约有 5000 人之多。全世界每年发生的职业事故 (死亡事故和非死亡事故) 2.7 亿起。因工伤亡和职业病造成的损失相当于全球国内生产总值之和的 4%, 约为 12514 亿美元。全世界每年职业事故死亡人数约为 35 万人。

中国自 2001 年至 2003 年三年间全国共发生一次死亡 10 人以上的特大工伤事故 397 起, 平均每 2.76 天发生一起。每年死于工矿现场的工伤死亡人数在 0.8 万 ~ 1 万人左右, 造成经济损失约 2500 亿元 (人民币), 约为 GDP 的 2.5%。

由此可见, 安全生产理论的研讨, 任重而道远。

安全科学是人类对安全生产的规律及其保障条件的认识的综合性边缘科学。安全原理是研究安全主体——人的安全和安全客体——物和环境的安全的理论问题; 也是研究工矿企业中人流、物流和信息流等的安全管理的理论问题。

安全原理重点探讨事故致因理论。导致职业事故原因的研究, 虽有近百年的历史, 但许多学说尚不完善。阿布杜勒·拉澳夫 (Abdul Raouf) 甚至认为“至今没有任何学说能被大家普遍地接受” (1998 年)。作者虽然不完全同意这一观点, 但这说明一个现实: 安全生产理论尚待不断完善, 须努力创新。

20 世纪 50 年代以后, 作为现代先进科学技术标志的、复杂的、巨大的系统相继问世, 在它们被研制和被利用的过程中常常涉及到高能量。“能量意外释放导致伤亡事故发生”的新论点, 使人们对物理实质的事故致因认识发生一大飞跃。人们在开发研制航天器具、洲际导弹这些大系统的过程中, 逐渐萌发了“系统安全”的基本思想。作为现代事故预防理论和方法体系的系统安全 (System Safety) 在许多方面发展了事故致因理论。

安全原理是一个宏大的系统工程, 涉及社会经济、科技发展的众多领域, 综合了行为科学 (研究人的不安全行为和心理)、管理科学 (现代安全管理学是管

理科学的分支，尤其系统安全管理是系统科学、安全科学和管理科学的综合)、工程控制技术(应用控制论和安全技术)、信息论(尤其是管理信息系统和安全信息)以及安全生产和防止事故发生的理论和原则。所以，安全原理已从纵向分科跃进到横向综合，成为安全科学这一浩瀚系统工程中的一个重要组成部分。本书只愿为这一大工程添一砖半瓦而已。

安全原理，基本上属于安全软科学，它不同于各类工程技术(机械、电气、建筑、化工、采矿等)中的“安全技术”，而是抽象出工程逻辑形式的事事故模型。事故致因模型化可以深入研究导致伤亡事故的原理和机制，查明事故的主要原因，用以预测同类事故发生的可能性；依据事故模型可以作出系统安全分析和危险评价，制订安全决策。各类事故模型既是一种安全原理的图示，又是应用安全人机工程学、安全心理学和安全信息等的系统分析的新方法。

书中危险源辨识、控制及评价、故障树分析、概率危险性评价以及事故统计、事前调查等内容由东北大学陈宝智教授编写；系统安全管理、安全人机学、职业安全健康管理体系等章节由辽宁省安全科学研究院隋旭副研究员编写。其他均由隋鹏程编写，全书由隋鹏程整理、统稿。在编写过程中得到化工出版社安全科学与工程出版中心的大力支持，特别是责任编辑的通力协助并提供一些新的信息和资料。

本人虽然从事安全专业教育 50 余年，对“安全原理”虽有 25 年的教学与研究，但对此仍觉知之甚少，力不从心，尚不能与时俱进。在摘编国内外同行专家的著述中难免挂一漏万、理解有误；自著论点因水平所限难免浮浅谬误，敬请读者批评指正。

隋鹏程

2005 年 2 月于北京



目 录

第一章 安全总论	1
第一节 事故	1
一、事故的学术定义	1
二、事故的特征	4
三、事故的发展阶段	5
四、伤亡事故法律上的定义	6
五、事故发生频率与后果严重度	7
六、事故的构成和追踪系统	9
第二节 安全	11
一、安全的定义	11
二、系统安全	12
三、防止事故原理	13
第三节 危险源	15
一、危险源分类	16
二、危险源辨识和评价	19
第四节 危险源控制	21
一、消除危险源	21
二、限制能量或减少危险物质量	22
三、避免或减少事故损失的安全技术	24
第二章 事故致因理论	26
第一节 事故致因理论的由来和发展	26
第二节 事故频发倾向论	31
一、事故频发倾向	31
二、事故遭遇倾向	32

三、关于事故频发倾向理论	33
第三节 事故因果论	33
一、因果继承原则	33
二、事故因果类型	35
三、起因物和施害物	35
四、事故因果连锁论	36
五、关于多米诺骨牌事故新模型	39
第四节 能量转移论	40
一、能量与事故	40
二、防止能量逆流于人体的措施	42
三、能量观点的事故因果连锁	43
第五节 扰动起源论	45
一、扰动起源事故模型	45
二、事故事件过程的多重线性及其应用	46
第六节 人失误主因论	48
第七节 管理失误论	51
一、博德的事故因果连锁	51
二、亚当斯事故因果连锁	53
三、以管理失误为主因的事故模型	54
第八节 轨迹交叉论	55
一、人、物两个事件链	55
二、人与物在事故致因中的地位	58
第九节 变化论	60
第十节 综合论	63
第三章 系统安全管理	65
第一节 现代管理科学原理	65
一、系统原理	65
二、整分合原理	66
三、反馈原理	67
四、封闭原理	69
五、弹性原理	70
六、能级原理	71
七、以人为本原理	72
八、动力原理	73
第二节 系统、系统工程、系统管理	74

一、系统的定义和分类	74
二、系统的概念和内容	75
三、系统管理	77
第三节 系统整体性原理	79
一、系统整体性原理	79
二、系统的危险源及相关因素	79
三、人-机-材料-环境系统	81
四、人-机系统事故模型	81
五、人-环境物事故模型	83
六、人-机系统外的事故模型	84
第四节 人流、物流和信息流概述	85
一、人流	85
二、流通质和物流	85
三、信息流	85
四、系统中的信息流	85
第五节 安全目标管理	86
一、目标管理的内容	86
二、安全目标的确定	88
三、安全目标管理重在发现安全问题	92
四、安全目标体系及内容	94
五、安全目标管理的几个认识问题	95
六、做好安全目标管理的注意事项	97
第六节 安全决策	99
一、决策技术概述	99
二、安全决策的制订方法.....	102
三、安全决策解决问题的步骤.....	105
四、安全决策程序.....	108
五、安全决策表和价值工程决策法.....	111
第七节 从系统安全观点防止事故的五个步骤.....	113
第八节 职业安全健康管理体系.....	116
一、职业安全健康管理体系的运行模式.....	116
二、职业安全健康管理体系要素.....	117
三、职业安全健康管理体系的特征.....	117
第九节 预测技术和事故预测.....	119
一、预测概述.....	119

二、预先危险分析事故预测法.....	123
三、用 PHA 对某石化公司 500 万吨/年常减压蒸馏装置 进行预评价.....	124
第十节 系统安全管理方案.....	129
第四章 人本安全原理	132
第一节 行为科学概述.....	132
一、动机论和挫折论.....	132
二、人性假说与管理理论.....	134
三、激励论.....	137
第二节 人失误及其分类.....	143
一、人失误.....	143
二、人失误分类.....	145
第三节 人的不安全行为分析.....	148
一、人的不安全行为的追踪.....	148
二、人的不安全行为五种起因.....	149
第四节 防止人失误与安全人机工程学.....	152
一、防止人失误的技术措施.....	152
二、人机系统的类型和功能.....	154
三、安全人机工程学基本概念.....	156
第五节 防止人失误的管理措施.....	164
一、强化安全生产教育和培训.....	164
二、推广作业标准化.....	169
三、人员选择和职业适合性.....	169
四、作业审批和安全确认.....	170
第六节 安全心理学概论.....	170
一、安全心理学的对象与任务.....	170
二、心理学与安全.....	171
三、建立与维持兴趣.....	176
四、事故原因分析与心理因素.....	178
五、注意与安全教育及监督.....	180
六、人的心理状态对发生事故的影响.....	182
七、生理-心理因素与不安全行为	188
第五章 物流安全原理	192
第一节 概述.....	192
一、物流中的重点安全问题.....	192

二、机械安全及其本质安全化.....	192
三、安全合理地布置工作场所.....	194
四、工作场所的安全原则.....	195
五、作业环境、安全距离、安全通道和作业空间.....	196
第二节 设备与物流的安全管理.....	200
一、机器设备的选择和评价.....	200
二、设备的使用、维修、改造与更新.....	203
三、排除物流中的事故.....	205
第三节 物品搬运及厂内交通安全原理.....	208
一、物质搬运引发的事故.....	209
二、预防搬运事故的 22 条原则	209
第四节 设备可靠性.....	214
一、一般概念.....	214
二、串、并联系统的可靠性.....	216
三、提高设备可靠性的方法.....	217
四、机械设备设计时的安全要求.....	217
第五节 危险物质加工处理危险性评价.....	218
一、火灾爆炸指数法.....	219
二、用火灾爆炸指数法评价青海某天然气田开发工程实例.....	223
三、火灾、爆炸、毒性蒙德危险指数评价法.....	228
四、火灾、爆炸灾害评估.....	234
五、ILO 推荐的单元危险性快速排序法.....	237
第六节 安全控制系统.....	243
一、生产操作安全控制系统.....	243
二、可燃气体泄漏监控系统.....	244
三、火灾监控系统.....	245
四、安全确认型安全监控系统.....	246
第六章 信息流与安全信息	248
第一节 管理信息系统.....	248
一、管理信息系统及其类别.....	248
二、管理信息系统的结构和设计.....	249
三、管理信息系统的基本工作内容.....	249
第二节 安全信息.....	251
一、安全信息的基本要点.....	251
二、安全信息与事故序列的四个阶段.....	252

三、安全信息的设计.....	253
四、安全信息的制作.....	259
五、生产现场的安全信息流.....	262
第三节 人的信息处理过程.....	264
第四节 事故序列信息模型.....	267
一、莎莉模型.....	267
二、工作环境基金模型.....	268
三、新 WEF 模型	271
四、安德森模型.....	273
五、海尔模型.....	273
六、皮特森模型.....	275
七、瑞森反馈模型.....	275
第五节 对风险和危害的感知信息.....	277
一、对风险的感知.....	277
二、风险评价.....	277
三、对危害的感知.....	278
第七章 系统安全分析	281
第一节 系统安全分析概述.....	281
一、系统安全分析的目的和程序.....	281
二、系统安全分析方法.....	281
第二节 故障类型和影响分析.....	288
一、故障类型和影响与危险度分析.....	288
二、故障类型和影响、危险度分析方法.....	290
三、FMECA 和 FTA	292
第三节 事件树分析.....	293
一、事件树分析原理.....	293
二、事件树分析举例.....	293
第四节 管理疏忽和危险树.....	295
一、管理疏忽和危险树的基本原理.....	295
二、管理疏忽与危险树的结构.....	296
三、管理疏忽和危险树的应用经验.....	298
四、MORT 的新版本及其应用	300
第五节 故障树分析浅释.....	303
一、故障树及其符号.....	303
二、逻辑积、逻辑和的表达式.....	305

三、故障树分析实例.....	305
四、最小割集和最小径集浅释.....	308
第六节 故障树的数学表达.....	313
一、布尔代数基本知识.....	313
二、故障树的结构函数.....	315
三、相关结构函数的一般表达式.....	317
第七节 故障树顶事件的发生概率.....	319
一、 g 函数.....	319
二、顶事件概率的求法.....	320
第八节 简化故障树.....	321
一、除去不相关和多余的基本事件.....	321
二、等价故障树.....	325
第九节 最小割集和最小径集.....	326
一、最小割集与最小径集的定义.....	326
二、用最小割集和最小径集表示结构函数.....	327
三、利用最小割集和最小径集求解顶事件发生概率.....	329
第十节 最小割集求算法.....	333
一、蒙特卡罗法.....	333
二、决定的方法.....	335
三、最小径集求算法.....	337
第十一节 基本事件重要度.....	338
一、结构重要度.....	338
二、概率重要度.....	340
三、关键重要度.....	341
第十二节 顶事件发生概率近似解法.....	342
一、基本事件相互统计独立时的近似计算.....	342
二、基本事件相互统计不独立时的近似计算.....	344
第十三节 伤亡事故的故障树分析.....	345
一、故障树分析步骤.....	345
二、绘制伤亡事故故障树时应注意的问题.....	345
三、基本事件发生概率的确定.....	347
第十四节 矿井火灾的故障树分析实例.....	351
一、外因失火的故障树.....	351
二、初期灭火失败故障树.....	354
三、撤离工作区域失败故障树.....	355

四、撤离矿井失败故障树.....	356
五、待避和外部援救失败故障树.....	358
第八章 系统安全评价——系统危险性评价	360
第一节 系统危险性评价概述.....	360
第二节 作业条件的危险评价.....	363
一、可能性因素.....	364
二、暴露于危险环境的频率.....	364
三、事故或危险事件的可能结果.....	365
四、危险分数.....	365
五、图解法.....	366
第三节 安全检查表评价方法.....	367
一、设计用安全检查表.....	368
二、厂矿企业安全检查表.....	368
三、用安全检查表进行危险性评价.....	370
第四节 概率危险性评价.....	372
一、概述.....	372
二、评价程序.....	375
三、量化危险性.....	375
四、确定安全目标.....	376
第五节 机械工厂安全性评价.....	376
一、评价原则.....	377
二、危险等级的划分原则.....	380
三、危险等级的计算方法和划分等级.....	381
四、计算举例.....	382
五、危险性评价原则.....	383
第六节 石化工厂安全预评价.....	384
一、石油化工厂安全预评价的依据和标准.....	384
二、预评价目的.....	385
三、评价原则.....	385
四、预评价方法.....	386
五、预评价的工作程序.....	386
第九章 伤亡事故统计分析及其调查研究	387
第一节 伤亡事故统计分析的数学原理.....	387
一、概述.....	387
二、概率及数理统计的基本知识.....	388

第二节	伤亡事故分类.....	393
第三节	伤亡事故统计指标.....	395
	一、伤亡事故频率.....	395
	二、伤亡事故严重率.....	397
第四节	伤亡事故综合分析研究.....	399
	一、伤亡事故综合分析研究概述.....	399
	二、伤亡事故管理图.....	400
	三、伤亡事故发生趋势分析.....	402
	四、探明产生伤亡事故的原因.....	403
	五、探讨伤亡事故发生的规律.....	405
第五节	伤亡事故调查研究概述.....	406
	一、调查研究的目的是.....	406
	二、事后调查和事先调查.....	407
第六节	伤亡事故的事后调查.....	408
	一、伤亡事故调查的目的和任务.....	408
	二、伤亡事故调查程序.....	409
	三、伤亡事故处理.....	411
	四、伤亡事故调查研究的十二个步骤.....	412
第七节	事故判定技术——事先调查与预测隐患.....	417
	一、使用事故判定技术进行调查的方法.....	417
	二、事故判定技术的变形方案.....	418
	三、资料分析.....	419
	四、事故判定技术的作用.....	419
第八节	不安全行为调查.....	420
	一、分层随机抽样.....	420
	二、不安全行为调查方法.....	421
第十章	灾害系统管理及事故性灾害的应急救援.....	423
第一节	灾难性事故及事故性灾害.....	423
	一、灾难性事故.....	423
	二、事故性灾害及其社会学特征.....	424
	三、事故性灾害属于人为灾害.....	427
第二节	灾害系统管理.....	428
	一、灾害系统管理图.....	428
	二、救灾对策预案管理.....	428
	三、灾害应急管理系统及基于“3S”的灾害监测与评估系统.....	430

第三节 抗御灾害与减灾系统工程.....	432
一、抗御灾害的阶段和要素.....	432
二、减灾系统工程的系列与任务.....	435
三、城市减灾与企业减灾.....	439
第四节 先进国家的应急救援体系概况.....	442
一、概述.....	442
二、美国灾害应急救援体制.....	443
三、日本灾害应急救援体制.....	443
第五节 事故应急救援计划.....	448
一、概述.....	448
二、应急救援计划的目的和制定程序.....	449
三、应急救援计划的内容.....	449
参考文献	453

第一节 事故

一、事故的学术定义

事故 (Accident) 是发生在人们的生产、生活活动中的意外事件。人们对事故下了种种定义, 其中伯克霍夫 (Berckhoff) 的定义较著名。

按伯克霍夫的定义, 事故是人 (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。该定义对事故做了全面的描述。

(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。因此, 人们若想把活动按自己的意图进行下去, 就必须采取措施防止事故。

(2) 事故是一种突然发生的、出乎人们意料的意外事件。这是由于导致事故发生的原因非常复杂, 往往是由许多偶然因素引起的, 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、发生什么样的事故。由于事故发生的随机性质, 使得认识事故、弄清事故发生的规律及防止事故发生成为一件非常困难的事情。

(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 (Event), 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害、财物损坏或环境污染等其他形式的后果。

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事件，这是不正确的。之所以产生这种认识，是因为事故的后果，特别是给人们带来严重伤害或损失的后果，给人的印象非常深刻，相应地注意了带来某种后果的事故；相反，当事故带来的后果非常轻微，没有引起人们注意的时候，相应地人们也就忽略了事故。

事故是在人们的行动过程中发生的，如以人为中心来考察事故后果，大致有如下两种情况：伤亡事故、一般事故。

1. 伤亡事故

伤亡事故 (Injury)，简称伤害，是个人或集体在行动过程中接触了与周围条件有关的外来能量，作用于人体，致使人体生理机能部分或全部的丧失。这种事故的后果，严重时决定一个人一生的命运，所以习惯称为不幸事故。在生产区域中发生的和生产有关的伤亡事故，叫工伤事故。

2. 一般事故

一般事故 (Incident) 是指人身没有受到伤害或受伤轻微，停工短暂或不影响人的生理机能障碍的事故。由于传给人体的能量很小，尚不足以构成伤害，习惯上称为微伤；另一种是对人身而言的未遂事故，也称为无伤害事故。许多学者的统计表明，事故 (Accident) 之中无伤害的一般事故 (Incident) 占 90% 以上，比伤亡事故 (Injury) 的概率大十到几十倍。

1966 年，伯德 (E. Bird) 和达复斯 (H. E. Duffus) 就 12535 件事故调查表明，其中无伤害的未遂事故为 10000 件，微伤 (Nearinjury) 为 2035 件，伤害 (Injury) 为 500 件。

从客观的物质条件为中心来考察事故现象时，其结果大致也有如下两种情况。

(1) 物质遭受损失的事故 如由于火灾、爆炸、冒顶，以致迫使生产过程停顿，并造成国家财产的损失。

(2) 物质完全没有受到损失的事故 有些事故虽然物质没受损失，但因人-机系统中，不论人或机哪一方面停止工作，另一方也得停顿下来。

总之，无论人员伤害与否或物质损失与否，都应彻底地从生产领域中排除各种不安全因素和隐患，才能防止事故发生，做到安全生产。

需要收集和研究无伤害、无损失的事故资料，这是因为重大事故的发生大多具有偶然性。出于同样致因的事故，可能发生的概率虽高但不造成伤害或损失。非伤害事故的原因可以作为判断潜在伤害事故致因的根源。研究任何事故的真正重要性，就在于它们能够判断出那些“潜在地”导致伤害的环境。

作为安全科学研究对象的事故，主要是那些可能带来人员伤亡、财产损失或环境污染的事故。

根据事故发生后造成后果的情况，在安全管理工作中把事故划分为伤亡事故、损坏事故和未遂事故。即，把造成人员伤亡的叫做伤害事故或伤亡事故；把造成设备、财物破坏的事故叫做损坏事故；把既没有造成人员伤亡也没有造成财物损失的事故叫做未遂事故或称之为险肇事故。

安全生产工作的基本任务是防止事故发生，避免事故带来的人员伤亡或财产损失。同时对未遂事故，即险肇事故也要作为严重的事件认真做“事件分析”，因为事故有无人的伤亡、物的损失是随机的，对未遂事故不能轻易放过，必须认真分析，防患未然，杜绝险肇事故再次发生。险肇事故，只是因为偶然因素（人不在现场或设备、物质未被危险源波及）侥幸免受灾难而已；事实上不安全因素已经发展并且构成了事故，这种情况所占比例甚大，详见本节“五、事故发生频率与后果严重度”。

关于事故致因，R. 斯奇巴（Reinald Skiba）在《工作安全的理论性原则》（1998年）一文中指出：

事故的概念是指工作场所内由于人和物相互作用并有能量释放而导致人员伤亡和物质损失的事件。

事故的原因是由于多种因素联合作用所引起的。有时是因为工人未能按规定安全地操作，或因为物质、设备处于不安全不稳定的状态；当然原因也可能是另一个工人提供了一个错误的信息；有时可能是监督者指导不善或培训不足等管理上的失误造成的。

潜在的危害存在于人和物的接触。尽管在一个物体内可能存在危害或危险，若工人和物体是分开的，彼此没有接触，就不可能发生事故。例如，起重机移动一个悬挂的重物，这个物体有一个潜在的危害，只要没有人在这个悬挂重物的效应区，这个潜在的危害就不可能引起损伤；一旦工人进到这个效应区，那么对这个工人就有一个实际的危害或危险，这是因为这个工人和这个物体之间有可能发生相互关系；也应注意到物体也有可能给其他物体造成危害，例如有车子停在起重机重物的下面。

事故的危害在不同的工作场所、不同的情况下是不同的，例如，涉及到油井的钻探，即使是同一群工人、使用同样的设备，但在差别很大的地理环境（陆地上或远离岸边的海上）和气候条件（如北极探查或沙漠地带）下，其危害就不一样。

每一起事故都有多种原因，如有危害的工作条件，多种因素的联合作用，事件链向事故构成发展，加之有人失误，特别是高层管理人员的失误等等。例如，一个锅炉爆炸事故可能包括如下一个或多个联合的原因：锅炉壁上附着有异常的