

事故预测预防技术



机械工业出版社

预防事故是全人类共同关心的问题，安全科学的发展给人类提供了对事故进行预测的科学依据，使事故预测由理想变为现实。为了贯彻“安全第一、预防为主”的方针，防患于未然，将事故消灭在萌芽状态，可以运用安全科学的基本原理及事故发生和发展的规律，对各种事故和潜在的危险性进行科学的预测，以便采取有效的预防措施，防止事故的发生和扩大，最大限度地减少事故造成的损失。

本书共分十二章，扼要地介绍了安全系统工程的基本原理，事故形成和发展的机理和预防对策，人在预防事故中的作用，环境中的不安全因素，各行各业普遍存在的火灾爆炸危险、机械危害以及电力危害的预测预防技术。

本书可供企业负责安全的领导人、安全管理人员，工程技术人员、大专院校安全工程专业师生以及从事防灾保险工作的业务人员参考。

事故预测预防技术

陆庆武 编著

责任编辑：郑淑敏，版式设计：胡金璞
封面设计：刘代，责任校对：李广孚
责任印制：王国光

工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 181/2·字数 410 千字
1990年9月北京第一版·1990年9月北京第一次印刷
印数 0,001—3,450·定价：13.40元

ISBN 7-111-01958-X/TB·90

前 言

近20年来，安全科学的发展十分迅速，安全科学已在生产和日常生活中占据越来越重要的地位。安全工作的首要目标是人，人在开发新产品和制造产品中对安全负有重要的责任，在事故的预测、预防中同样起着重要作用。

“安全第一、预防为主”是安全工作的指导思想。安全科学必然涉及到各种组织以及各个组织中具有不同特点的人，还要涉及各种应用技术。正是由于现代科学技术的飞速发展和安全技术本身的进展，使人们对事故规律的认识，预测危险及发生事故可能性的能力大大提高，一门新的学科分支——事故预测技术已逐步形成。

把安全工作的重点放在事故预测上，并采用先进技术对事故前兆进行监测，就有可能防止重大事故的发生，至少可以减轻事故造成的危害。

本书根据安全系统工程和人类工效学的基本原理对人—机—环境系统中关系到安全的各影响因素进行讨论。鉴于有些内容已有专著，本书只介绍其中最基本的内容，例如介绍人的行为科学、影响安全的环境因素等问题的主要部分。由于篇幅有限本书所涉及到的最常见的多发性事故，只限于防火、防爆、机械和电气危害，未能涉及更多的各类具体事故。

本书第十一章由陆宏琦执笔，在编写过程中机械电子工业部王士华同志提出了宝贵意见，日本井上威恭教授提供了宝贵的原始资料。中国劳动保护学会常务理事北京经济学院

IV

钱垣教授对全书作了审定，并提供了不少有用资料和修改意见。在此谨向上述专家表示衷心的感谢。由于作者的水平有限，错误和不足之处请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 常用的名词和术语	1
第二节 预防事故的意义	6
第三节 预防事故的原理	13
第四节 预防事故的基本措施	40
第二章 安全系统工程	44
第一节 基本概念	44
第二节 系统安全分析法	59
第三节 事故树分析法	67
第四节 事件树分析法	83
第五节 安全评价	84
第三章 人类工效学和安全	89
第一节 人类工效学	89
第二节 人机系统	93
第三节 人机匹配	102
第四节 控制论和安全的关系	118
第四章 行为科学	129
第一节 个体行为	129
第二节 人行为的测量方法	142
第三节 个人的差异	144
第四节 人的心理功能	149
第五节 人的改变	159
第六节 人的注意和期望机能	161
第七节 面对危险时人的行为	164

VI

第五章	消除不安全行为	176
第一节	人的行为和安全的关系	170
第二节	人行为的退化	173
第三节	安全行为的模型	178
第四节	不安全行为的表现	182
第五节	消除不安全行为的对策	193
第六章	创造良好的工作环境	213
第一节	工作环境的应激	214
第二节	气候条件	231
第三节	环境条件对材料的影响	255
第四节	工作环境空气中有害物的预防	258
第七章	工作环境中的照明	277
第一节	基本概念	277
第二节	照明的性能	280
第三节	照明设计	287
第八章	噪声和振动的防治	299
第一节	基本概念	299
第二节	噪声的危害	305
第三节	噪声的防治	319
第四节	振动及其防护	326
第九章	生产设备的本质安全	337
第一节	机械的操作特性	337
第二节	机械的危险零部件和危险部位	345
第三节	生产设备的安全设计	353
第四节	生产设备的本质安全措施	369
第十章	故障的检测和诊断	390
第一节	故障诊断的意义	390
第二节	故障的检测	392
第三节	故障诊断	405

第四节	故障的分析	434
第五节	故障的排除	440
第十一章	用电安全	452
第一节	概述	452
第二节	绝缘	464
第三节	保护接地和保护接零	469
第四节	电气设备的安全要求	478
第五节	特殊防护技术	486
第十二章	火灾爆炸的预测与预防	500
第一节	物质燃烧的原理	500
第二节	火灾危险性的评价	507
第三节	火灾危险性的监测	534
第四节	火灾的监测技术	543
第五节	火灾的防护	567
第六节	爆炸的预防和防护	573
主要参考文献	578

第一章 绪 论

近年来，世界范围内各类重大事故不断发生，安全问题已引起各国政府和人民的高度重视。安全生产已成为世界各国人民共同关心的重要问题。

安全技术作为一门新型科学正在逐步形成，有关安全技术的许多基本概念还有待于进一步作深入的研究和讨论。虽然每一具体事故的发生和发展有其特殊的原因，但事故的发生有其共同的规律性。如果能掌握事故本身的特点，事故发生的原因和发展规律，对事故进行科学的预测，并且采取切实可行的措施，就能有效地预防事故的发生。各国科学家在事故预测方面都作了不同程度的探讨，提出的一些预防事故的理论，已得到了广泛的承认并取得了良好的效果，并已逐步形成一门新的科学——事故预测技术。

我国对安全生产的总的指导方针是“安全第一，预防为主”。本书的内容也是侧重讨论事故的预测和预防。如果能掌握事故的预测预防技术，就可以有效地防止事故的发生、或将事故消灭在萌芽阶段，即使万一发生了事故，也能有效地减少事故损失。

第一节 常用的名词和术语

在安全科学及本书涉及的内容中，经常用到一些名词和术语。现参考美国安全工程师学会（ASSE）出版的《安全专业术语词典》，日本青岛贤司著的《安全用语词典》，对

未列入国家标准而又经常用到的名词和术语进行了解释。凡已列入我国国家标准者均采用国家标准的解释。

安全 (Safety) 一般是指没有危险。国外有时将安全称为无事故，没有遭受或引起创伤、损伤或损失。美国哈佛大学的劳伦斯教授将安全定义为安全就是被判断为不超过允许极限的危险性。也就是指没有受到损害的危险或损害概率低的通用术语。

事故 (accident) 意外的变故或灾祸。主要指工程建设、生产活动与交通运输中发生的意外损害或破坏。这些事故可造成物质上的损失或人身伤害。我国将企业职工在生产劳动过程中，发生的人身伤害（简称伤害）及急性中毒（简称中毒）称为伤亡事故。美国将事故解释为：使一项正常进行的活动中断，并有时造成人身伤亡的或设备损毁的意外事件。

危险性 (danger) 通常指造成损害的倾向性或可能性。我国将危险定义为对人的生命和健康可能造成的各种危害。

损失 (damage, loss) 指财产或物品在价值上的损失、失效等，也指引起任何物质损失的损害。

一般事故 (incident) 有时也称非伤亡事故。

风险 (risk) 或称危险率。指一项活动或一种情况中衡量各种危险的可能性及其后果的量度方法。

事故原因 (accident cause) 能引起事故或具有这种可能性的各种因素。这些因素是指与事故直接或间接有关的事件或情况，即直接原因和间接原因。它们可能同时发生，也可能依次发生。

起因物 导致事故发生的物体、物质。

致害物 指直接引起伤害及中毒的物体或物质。

伤害 (injury) 外力作用或环境因素接触机体所引起的物理损害或损伤，包括职业病。

伤害方式 指致害物与人体发生接触的方式。

不安全状态 (unsafe condition) 指能导致事故发生的物质条件。

不安全行为 (unsafe act) 指能造成事故的人为错误。

伤亡事故经济损失 指发生伤亡事故所引起的一切经济损失，包括直接经济损失和间接经济损失。直接经济损失是指因事故造成人身伤亡及善后处理支出的费用和毁坏财产的价值。间接经济损失指事故导致产值减少，资源破坏和受事故影响而造成的其他损失的价值。

事故率 (accident rate) 有时称事故频率。表示某时期内，通常为每百万工时造成丧失劳动日的事故次数。

用数学公式表达为：

$$F = \frac{N}{\left(\frac{H}{1000000}\right)} \quad \text{或} \quad F = \frac{N}{H} \times 10^6$$

式中 F ——事故频率或事故率；

N ——实际事故次数；

H ——实际总工时。

我国以伤害频率表示，即每百万工时事事故造成伤害的人数，包括轻伤、重伤和死亡人数。

$$\text{百万工时伤害率 (A)} = \frac{\text{伤害人数}}{\text{实际总工时}} \times 10^6$$

国外常单独统计死亡率 (FAFR) 即

$$\text{百万工时死亡率} = \frac{\text{死亡人数}}{\text{实际总工时}} \times 10^6$$

事故严重率 (severity rate) 指每百万工时事故造成的损失工作日数。由于损失的工作日是伤害造成的，我国称为伤害严重率。其表达式为：

$$S = \frac{D}{\left(\frac{H}{1000000}\right)} \quad \text{或} \quad S = \frac{D}{H} \times 10^6$$

式中 S ——事故严重率 (伤害严重率)；

D ——总损失工作日；

H ——实际总工时。

损害 (damage) 由于化学或物理因素对人造成的损伤，这里的人是指当事人或附近的人甚至是其他无关群众。

事件 (occurrence, event) 不寻常的或意外的事情。根据其后果的严重程度，常可分为相对主要的或次要的两类。严重时可造成伤害。

事故隐患 (accident potential) 指一种或一些行为、一种或一些状态以及二者的结合，有可能引起事故，因而需要检查和采取控制危险的措施。

事故预防 (accident prevention) 应用经设计的防范措施，以减少一个系统、一个组织机构或一项活动中的事故或事故隐患。目标是避免发生事故。

事故概率 (accident probability) 一个工人或一台设备发生事故的可能性，或一项工艺或操作导致发生事故的可能性。

潜在危险 (potential hazard) 具有导致发生事故的潜在特性的人、情况、物或事件。

天灾、自然灾害 (act of God) 指一种意外事故。通常指非人力所能控制的闪电、洪水、台风、地震、泥石流等。虽然自然现象难以驾驭，但它们也可以预测，对它们所产生的影响，在大多数情况下还是可以控制的，天灾造成的严重后果是可以减轻的。

疏忽 (Carelessness) 指漫不经心或不在乎的举动成为事故原因的笼统术语。当对人为失误进行具体鉴定时应避免使用。

灾祸 (catastrophe) 以伤亡和毁灭表现的异常巨大的损失，亦称大灾难。

大火灾 (conflagration) 指蔓延大片地区，并毁坏了大批建筑物和(或)巨额财产的火灾。

灾害 (disaster) 突然发生的、往往是未预见到的天然或人为事件，造成众多伤亡和(或)大量财产损失。

死亡事故 (fatal accident) 造成一人或多人死亡的事故。

危险 (hazard) 存在负伤、致病或财产损失可能性的情况，或由于环境状态的变化，可能产生不良或有害结果的活动、状况或环境的潜在特性或固有特性。

危险分级 (hazard classification) 根据发生事故的概 率，表示事故相对可能性的一种方法。

事故发生率 (incidence rate) 是美国职业安全与卫生管理局 (OSHA) 规定的记录存档的一种统计方法，并为美国劳工统计局 (BLS) 所采纳。是指按200000 受雇时数 (相当于100人在50周内，每周工作40小时) 计算所得的伤害/疾病率。其表达式为，

$$I = \frac{C}{\left(\frac{H}{100 \times 50 \times 40} \right)} = \frac{200000 C}{H}$$

式中 I ——事故发生率；

C ——事故发生数；

H ——一年中工人总工时 (h)。

事故发生率也称“安全率”(safety ratio)。可以对企业安全工作的成效进行相对比较。

损失预防(loss prevention) 对可能发生经济损失或伤害的情况采取预防措施,对事故隐患进行鉴别和纠正。

未遂事故(near accident) 指有可能造成人员伤亡或财产损失;但实际上未产生这种后果的事件。

第二节 预防事故的意义

上节已经指出,事故是意外发生的事件,它可以造成物质损失或人员伤亡。特别是重大和特大事故所造成的危害,将会十分严重,其后果甚至可以延续若干年。因此,有必要采取坚决的措施来预防事故的发生。

一、事故造成人员伤亡

下面举出本世纪发生的几次特大事故所造成的死亡人数。见表1-1。

表1-2是不同国家在制造业中事故的死亡率。

我国近年来发生过多起特大事故,死亡人数甚多。如1987年5月5日发生的黑龙江省大兴安岭森林火灾,死193人,伤226人。道路交通事故死亡的人数也很惊人。如1988年共发生道路交通事故276071起,死亡54815人,伤170598人。

表 1-1 本世纪的几次特大事故

年	事 故	事 故 地 点	死 亡 人 数
1921	化学工厂爆炸	德国奥泡 (Oppau)	561
1942	煤尘爆炸	中国本溪煤矿	1572
1947	化肥运输船爆炸	美国德克萨斯市	562
1966	代那头特炸药运货车爆炸	美国开尔 (Cair)	1100
1974	化学物质泄漏后爆炸	英国费利克斯伯罗 (Flixborough)	28 (3000人疏散)
1976	化学剧毒物泄漏	意大利塞维索 (Seveso)	①
1979	生物化学武器工厂事故	苏联海参威 (Novosibirsk)	300
1984	天然气爆炸	墨西哥 墨西哥市	452 伤 4258人 31000人疏散
1984	毒气泄漏	印度博帕尔市	2500 重伤 50000人 100000人疏散
1985	原子能发电站事故	苏联切尔诺贝利	29 (同年 8 月发表)
1985	日航波音 747 SR-100型客机空难	日本	520 4人获救

① 原文无死亡人数，有 700 人疏散，数百头动物死亡，皮肤病 200 例。

表 1-2 不同国家制造业中事故死亡率^①

国 家	死亡率 (每10万工人每年死亡人数)	
	根据国际劳工组织 (ILO) (1972年)	根据英国卫生与安全执行局 HSE (1977年)
法 国	10 (1964)	11 (1971~1974)
意 大 利	10 (1967)	8 (1971~1973)
加 拿 大	12 (1968)	14 (1971~1974)
联邦德国	16 (1968)	17 (1971~1975)
瑞 士	18 (1968)	—
奥 地 利	33 (1968)	—
英 国	4 (1969)	4 (1971~1975)
捷 克	9 (1969)	—
日 本	—	5 (1971~1975)
荷 兰	—	4 (1971~1973)
瑞 典	—	8 (1971~1972)
爱 尔 兰	—	9 (1971~1975)
美 国	—	7 (1971~1974)

① 各国计算方法多少有些不同。表中数字仅供参考。从表中可见各国制造业的死亡率还是相当高的。

二、事故造成严重的经济损失

事故必然造成经济损失，美国全国安全协会报道，1974年工伤事故损失5.064亿美元，致残性损伤丧失的工时达2.45亿工作日，相当于100万工人全年的工作日。我国1987年火灾造成的损失很大，据公安部统计，全国共发生火灾32053起，死2411人，伤4009人，损失8.05亿元。平均每天损失221万元，每起火灾平均损失25135元。1988年由于道路交通事故造成的车物直接经济损失就达3亿多元。有些特大事故造成的损失尤其惊人。如大兴安岭特大森林火灾是建国以来烧林面积最大、伤亡最惨、损失最重的一次。除伤亡外，过火面积101万公顷，其中有林面积70万公顷，烧毁各种设备2488台，其中汽车、拖拉机等大型设备617台。烧毁桥涵67座，铁路专用线9.2公里，通信线路483公里，输变电路284公里。烧毁粮食162.5万公斤。烧毁房屋61.4万平方米，其中民房40万平方米。受灾群众10807户，56092人。上述几项损失达5亿多元。估计被烧毁65万公顷森林，大约要损失木材3000万立方米。此外扑火的人力、物力、财力的耗费及停工停产的影响尚未计算出来。至于火灾给生态环境带来的影响，更是无法用金钱能够计算出来的。

不仅重大特大事故造成的经济损失十分惊人，有些事故造成的间接经济损失也相当惊人。如安徽淮南市一个户办小煤窑发生特大透水事故，除淹死12人外，由于透水流入附近国营大矿造成国营煤矿停产59天，直接经济损失达9855万元，间接经济损失达10亿元。

国外石油化工企业发生的火灾爆炸事故所造成的损失也很惊人。如表1-1中英国费利克斯伯罗的环乙烷泄漏引起爆炸造成的损失达476亿日元。美国雷克卡尔斯炼油厂异丁

烯泄漏引起的爆炸事故，损失达3500万美元。荷兰鹿特丹炼油厂氯乙烷爆炸损失4600万美元。美国路易斯维尔合成橡胶厂爆炸损失365亿日元。日本德山聚乙烯工厂发生大火灾损失达48亿日元。

还有一些事故所造成的损失是无法弥补的。1988年2月14日至15日，前列宁格勒苏联科学院图书馆发生火灾，大火烧了整整19小时。火灾使40万册珍贵藏书付之一炬，另有270万册藏书和大批文献杂志因遭水淹而严重损坏。图书馆中唯一的一种报纸有1/4被毁，其中有许多世上仅存的珍贵报刊资料。这次火灾造成的损失难以计算，苏联文化基金委员会主席季米特里·科哈乔夫称之为“民族的灾难”、“苏联文化史上的切尔诺贝利事件”。这些损失是无法用金钱来衡量的。

事故给国家、企业和个人都造成了不应有的损失。因为事故分析表明，不少事故是人为因素造成的。应该说这些事故是完全可以预防和避免的。

三、事故影响社会安定

发生重大特大交通事故后，使交通中断，打乱国家正常的经济生活，国家不得不投入大量的人力、物力全力抢救和处理善后工作。重大特大事故不仅会增加国家的经济负担，而且会严重影响职工情绪和社会安定。有些不应发生的事故所造成不良的政治影响，更是难以挽回的。如1988年3月24日在上海附近发生311次列车和208次列车正面相撞事故，是由于司机违章驾驶，造成28人死亡其中日本学生27人，伤127人(日方37人)。1988年1月18日在重庆附近发生的222号客机空难事故是由于第四发动机内起动电机的零件因维修使用不当，引起电机失火，导致第四发动机坠落，使飞机失控