

中国兵器工业总公司质量技安局

安全技术普及教育系列教材之二

安全工程学基础

陆庆武 编

兵器工业出版社

安全工程学基础

陆庆武 编

兵器工业出版社

(京)新登字049号

内 容 简 介

安全工程学是一门新兴的学科。一切生产活动离不开人、机(或物)和环境,这三者构成了人机环境系统。安全工程学研究的内容是如何实现上述系统的安全。安全工程学包括两大部分内容,即系统安全工程和系统安全管理。

系统安全工程与人类工效学有密切的联系,本书扼要地介绍了系统安全工程最基本的知识。即人、机、环境系统的基本组成部分、人的因素、人机系统、工作环境对人和操作安全的影响、劳动安全人类工效学、生产中的危险性及预防事故的措施。

本书可供工程技术人员、安全管理干部和大专院校安全工程专业师生参考。

安全工程学基础

陆庆武 编

*

兵器工业出版社 出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

太原机械学院印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/32 印张:9.18 字数:204千字

1992年1月第1版

1992年1月第1次印刷

印数:1—3000册

定价:4.30元

ISBN 7-80038-424-1/Z·14

前 言

“安全第一，预防为主”的方针，反映了党与政府为人民服务的根本宗旨，是代表国家和人民长远利益的一项基本国策。兵器工业是易燃易爆危险性大、事故后果严重的行业，因而安全生产工作更具有特殊的重要性。正因如此，我们兵器工业历来就有重视安全生产的好传统，当然这也是通过历史上一次又一次血的事故教训之后逐步形成的。当前，兵器工业正处在保军转民，建立军民结合新体制的第二次创业时期，产品结构的调整，新老人员的更替，安全技术的不断发展，新技术的不断引进，更加重了安全技术教育培训的任务。我们必须采取多种形式，提高全体职工的安全生产意识和安全技术素质，以保障职工在劳动生产过程中的安全和健康，圆满地完成党和国家交给我们的军民品生产和科研任务，在治理整顿、深化改革的新形势下，开创兵工安全生产新局面。为此，中国兵器工业总公司质量技安局组织山西地区具有高级职称的工程技术人员和高校教授、副教授，编写了这套“安全技术普及教育系列教材”，共九个分册：

- 《法规与安全生产》
- 《安全工程学基础》
- 《安全评价基础》
- 《三级安全教育》
- 《静电危害及其防护》
- 《危险货物的安全储运》
- 《锅炉压力容器安全管理》

《防火与灭火》

《防爆安全技术》

本系列教材力求突出科学性、实用性、新颖性和系统性，对通用安全技术和管理，做了较全面的阐述，是一套通用的安全技术普及教育系列教材。但各册相对独立，自立其意，读者可以通读断览，各取其便。希望这套系列教材的出版会对读者有所帮助。

本系列教材在编委会指导下，确定了各分册的编写分工、编写大纲、主审人、特约编辑。编者在广泛搜集资料 and 调查研究的基础上，写出了初稿，并经过多次会议讨论修改。作者根据会议要求修改后，由主编陆庆武同志审核统稿，最后由中国兵器工业总公司质量技安局解艾兰、张国顺、李树行、李淑新等同志终审定稿。

这套教材在编写过程中，得到兵器工业出版社有关领导和编辑的多次指导，也得到山西省国防科工办、太原机械学院、有关工厂的领导和同志的大力支持。各册作者、主审人、特约编辑以及主编和审稿的同志，基本上是利用业余时间写作和审稿的，做了大量工作，付出了辛勤劳动，完成了编审任务。尽管如此，由于编者和审稿者水平有限，书中错误和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司质量技安局

1990年5月7日

编 者 的 话

《安全工程学基础》扼要介绍了安全工程学最基本的知识，系统地介绍了构成人、机、环境系统的三大要素，根据人类工效学的要求对各子系统进行了分析，并对预防事故的措施进行了介绍。本书由郑志良高级工程师任主审，阎增华同志任特约编辑。张国顺、李树行、李淑新、康维勇、周富林、王文佑、郑志良、刘荣海等同志参加了审定。在编写过程中曾得到山西机床厂、晋东化工厂、晋安化工厂、卫东化工厂、兴安化学材料厂、北京理工大学、华东工学院以及217所等单位的领导和有关同志的大力支持，对此表示诚挚的谢意。由于编写时间仓促，作者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 安全工程学的基本内容.....	(1)
第二节 安全工程学涉及的学科.....	(13)
第二章 人、机、环境系统	(18)
第一节 概述.....	(18)
第二节 人、机、环境系统工程的特点.....	(20)
第三节 人、机、环境系统中人的特性.....	(24)
第三章 劳动安全人类工效学	(38)
第一节 人类工效学.....	(38)
第二节 劳动安全人类工效学研究的内容.....	(44)
第三节 劳动安全人类工效学研究的分类方法.....	(47)
第四章 人机系统	(54)
第一节 人在人机系统中的作用.....	(54)
第二节 人机功能的比较.....	(56)
第三节 人机功能的合理分配.....	(62)
第四节 影响人机系统安全的人的因素.....	(67)
第五章 生产设备的人类工效学要求	(74)
第一节 生产设备的总体要求.....	(74)
第二节 信号和显示器.....	(83)
第三节 操纵器.....	(92)
第四节 手持工具	(100)
第六章 工作环境对安全的影响	(104)

第一节	人环境系统	(104)
第二节	工作环境的应激	(105)
第三节	工作场所的微气候	(107)
第四节	工作场所的照明	(124)
第五节	工作场所的噪声和振动	(128)
第六节	工作场所的化学因素	(133)
第七章	生产中的危险性	(138)
第一节	危险性的概念	(138)
第二节	危险性分类	(146)
第三节	产生危险性的原因	(148)
第四节	危险性可能产生的影响	(161)
第八章	安全措施	(165)
第一节	安全教育	(165)
第二节	预防事故的措施	(175)
第三节	减少设备故障的措施	(180)
第四节	保护措施	(185)
第五节	制定职业安全卫生标准的要求	(192)
第九章	安全装置	(196)
第一节	安全装置的设计要求	(196)
第二节	安全装置的种类	(197)
第三节	监测和报警装置	(199)
第四节	防护罩和防护屏	(208)
第五节	联锁装置	(238)
第十章	操作安全	(246)
第一节	人子系统	(246)
第二节	工作场所的人类工效学要求	(249)

第三节	工作场所的地面和安全通道	(258)
第四节	人的操作活动	(263)
第五节	管理和监督	(274)
第六节	文明生产和安全	(279)
主要参考文献		(283)

第一章 绪 论

第一节 安全工程学的基本内容

安全工程学是一门较新的学科。虽然“安全工程”的概念提出较早,即1947年9月美国航空科学院在一篇题为“安全工程”的论文中首次提出的,但真正形成一门学科,是各国科学家从50年代以来不断研究发展这方面的内容,而到70年代才逐步形成的。它是多门学科相互交叉的新学科,有的国家称为安全科学。

在“安全工程”论文中首先提出的系统安全概念,后来为各国所采纳。因为一切安全问题,都会涉及到人、人所操纵的机器设备、和人所处的作业场所即作业环境。这三者就构成了一个系统,安全工程学的目标就是要实现系统安全。从这个意义上讲,安全工程学包括两大部分内容,即系统安全工程和系统安全管理。前者属于工程技术问题,而后者则属于管理科学。现分别介绍这两方面的基本概念。

一、系统安全概述

近几十年来,科学技术及工业生产所涉及的系统规模越来越大,传统职业安全的管理方法与保护措施已显得无能为力,必须以系统安全的观念来指导安全工作。

系统安全的根本出发点是将一切有害(或不安全)因素尽可能在“事前”予以认识、排除或控制,以便能最大限度地降低风险,并将其影响局限在可接受的范围之内。为此,

对于当代科学技术与工业生产中的许多大规模的系统，必须借助系统科学的有关理论与方法，借助某些新兴科学如可靠性工程、管理科学的成就。系统安全就是关于“人一机—环境”系统整体安全问题的科学。

系统安全主要针对的是具有一定规模和复杂程度的大系统。对于很简单的系统，如人使用一个工具进行简单劳动，借助可靠性工程就可以解决问题。系统安全还体现了一个特点，即必须贯穿于系统寿命周期的各个阶段，包括设计阶段，而绝不仅仅是指生产阶段或施工场合，而且还应包括正常生产中的维修等阶段。

要想达到系统安全的目标，必须有相应的工程实践即技术措施和管理保障即管理措施，也就是说，实现系统安全的目标需要由系统安全工程与系统安全管理两部分工作来完成，二者相辅相成，缺一不可。两者圆满地结合，就能保证高度的系统安全。

二、 系统安全用到的名词解释

(一) 系统

系统是由人、材料、工具、设备、环境及软件等相互作用和相互关联的部分组成，具有整体功能和综合行为，并实现特定目标的统一体。一切系统都可以归纳成为人一机—环境系统。广义的机器包括物料、工具、设备。系统有大有小，大的或复杂的系统可以是一个构造复杂的航天飞机或几万人的大企业，也可以是一个分厂或车间，小的系统可以是一个班组，人操纵一台机器。但无论系统大小如何，都离不开上述三个要素。有的系统的范围还会扩大到企业以外的其他为工厂供电、供水、材料运输的企业。一旦停电停水，就

影响到本企业的安全生产，系统安全的目标就不能实现。

（二）系统安全

以运行性能、时间和费用为约束条件，在系统寿命周期各阶段应用系统安全管理和和系统安全工程的原理来辨识危险，减少风险，使系统的安全得以优化。

（三）系统安全规划

是对系统安全管理与系统安全工程进行预先设计和计划，其目的是在系统寿命周期各阶段：设计、制造（或施工）、安装、运行、维修等阶段，能够及时、经济、合理地满足系统安全的总体要求。

（四）系统安全管理

它是按照系统的总体规划要求、和已确定的系统安全规划目标，对系统安全规划进行分析、审查与评价，负责安排、组织和实施，以确保系统安全规划目标的实现。

（五）系统安全工程

运用数学、物理和有关专业知识，以及科学与工程学的原理、规范与技术，对系统中的危害予以辨识、排除及控制，以减少风险的一门工程学科。

（六）系统安全分析

辨识系统中的各种危害，评估所采取的控制措施是否充分，并为预测事故及评价有关风险而进行的分析工作。系统安全分析又可分为以下4种：

1. 初步危害分析（PHA）

在制定系统方案阶段完成的系统安全分析工作称为初步危害分析。这是按一般安全要求辨识出与系统有关的主要危害，并找出原因，估计影响，予以分类，供设计时使用。

2. 系统安全危险分析

在系统设计阶段结束时对初步危害分析进行修改与完善，完成对影响系统安全全面的危害分析。在这次分析中，应辨识出系统中的全部危害，并为减少和控制这些危害使达到系统安全规划所容许的程度而提出相应的安全措施及安全要求。

3. 运行危害分析

这是在系统正式投入运行之前完成的系统安全分析工作。将系统在运行阶段中可能遇到的危害及其影响加以整理，并提出在运行和维修时应采取相应的防护措施。

4. 经济效益分析

对提高系统安全程度所需开支（如增加安全监测、报警、防护装置）与隐患消除前可能导致的损失或由于系统安全效能提高而相应增加的经济效果进行比较，以便作为安全决策时的参考依据。

（七）系统安全分析技术

指完成系统安全分析的方法。我国国家标准《企业职工伤亡事故调查分析规则》GB6442-86规定的方法有事故树分析（即故障树分析FTA）和事件树分析（ETA），另外还有故障模式与影响分析（FMEA）等。

1. 事故树分析（FTA）

在安全工程中称为事故树或事故逻辑分析，在可靠性工程中称为故障树或失效树分析。虽然名称不同，其内容和分析方法是一致的。

这是事故分析方法中使用最多的一种方法，可以对事故进行分析和预测。这种分析方法是对既定的生产系统或作业中可能出现的事故条件及可能导致的灾害后果，按工艺流程、先后次序和因果关系绘成程序方框图，即表示导致事故

的各种因素（包括硬件、软件、环境、人为因素）之间的逻辑关系。用以分析系统的安全问题或系统运行的功能问题，并为判明事故发生的可能性和必然性之间的关系而提供一种表达形式。

2. 事件树分析法(ETA)

这是一种归纳逻辑图，是决策树在安全分析中的应用。它从事件的起始状态出发，按一定顺序，逐项分析系统构成要素的状态（成功或失败），并将要素的状态与系统的状态联系起来，进行比较，以查明系统最后的输出状态（即结果）从而展示事故的原因和发生条件。

3. 故障模式与影响分析(FMEA)

所谓故障模式是指用故障后果来表示组件、设备或系统的故障。系统发生故障也许只是其中一台设备、一台设备中的某个零部件而不可能是整个系统同时发生故障。但一个组件、零件的故障又足以使整个系统停止运行。故障模式与影响分析就是识别系统中各种潜在的、可能的初始故障模式，并按单独及组合方式列表确定其对系统安全产生的影响。在可靠性工程中称为失效模式及效应分析。

4. 管理疏忽与风险树分析(MORT)

这是事故树分析的一种特定形式。在编制事故树时将管理疏忽的内容、设想的风险以及管理存在的问题（管理缺陷）分别予以有序排列。其目的是发现故障和管理中的差错，并采取措施加以纠正。运用这种方法可以使管理部门发现事故原因及其后果。

5. 人为失误预测法(THERP)

这是对人为失误影响系统的正常运行或使产品质量降低而进行量化评价的一种方法。

预测人为失误的必要条件是提供人的各种误操作率，即人的失误率。由于人的操作失误，可能产生简单的差错，但也可能产生严重后果。人的失误会贯穿在整个生产过程的各个阶段，要了解总的失误率，就必须了解每个阶段人的失误率。按照人的操作程序，分析各个程序中每个单项动作的内容及其影响因素，根据以往经验或通过实验得出每个动作的可靠度；根据每个可靠度的乘积，就可得出每个程序的可靠度；根据各个程序可靠度的乘积，即可得出整个系统的可靠度；由系统的可靠度求得整个系统的不可靠度，即人为失误率。

人为失误率受各种因素的影响：工作任务的紧迫程度；单调性；人对安全的态度；人的心理状态和生理状态，如是否过度疲劳；是否有外界因素的刺激；人受教育训练的程度；作业环境，如温度过高、噪声过大、通风不良等；以及监督管理等因素的影响。

在计算人为失误率时，需要考虑作业时间（时间越长，越容易出错）、操作时的动作频率（频率越快，越容易出错）、危险状况、人的心理和生理条件、环境条件的影响等。还需要根据各种影响因素进行修正。

人为失误率的预测是很复杂的，所选用的数据是根据实验或以往事故率的统计数得出的。在确定各种影响因素的修正系数时，也包括人的主观因素。因此，人为失误率预测只能在分析事故时作参考。

6. 系统安全检查表

这是最常用的方法之一。这种方法是按有关经验、规程、规范和国家标准，以提问的方式列表确定影响系统安全或产生事故的原因。

三、事故分析

系统安全分析是事先进行的，事故分析则是事后进行的。在进行事故分析前必须进行事故调查，然后再进行分析。我国国家标准《企业职业伤亡事故调查分析规则》GB 8442—86对事故调查程序及事故分析的方法和要求都有明确的规定。

(一) 事故调查

根据事故有关人员的叙述和对事故现场的调查，判断出与事故相关的重要事实及背景材料。事故调查的目的是掌握事故情况。

(二) 事故分析

对事故调查所得资料严格检查，从而确定引起事故的有关因素，查明事故原因，分清事故责任，以便制定防止事故再次发生的措施。

四、事故

事故是指导致人员伤亡、设备损坏、财产损失、环境受到破坏的一个或一系列意外事件。在人员伤亡中也包括职业危害，即由于意外事件所引起的职业病。

事故几乎都是由于人的不安全行为、物的不安全状态或两者以某种形式的组合所引起的。事故可以认为是由于未能识别危险或因控制危险的现有系统不合适所造成的。

有几个概念与事故有关：

(一) 事故原因

指能引起事故或具有发生事故可能性的各种因素。这些因素是与事故直接或间接有关的事件或情况。它们可能同时

发生，也可能依次发生。这类因素可能与人和（或）环境的（物质的）各种影响（如设备、机械、装置、大气污染、温度等），以及它们的相互作用有关。各因素必然与控制危险系统的一个或更多的组成部分有关。任何一个事故的发生，通常都有多种原因，所以只找出一个原因常常是不合适的。需要鉴别出几方面的事故原因。

1. 直接原因

是指对导致事故发生的一系列事件顺序或同时起作用的原因，如人开错阀门，手放在模具中，突然停电等。

2. 远期或早期原因

对事故起作用，但在时间或空间方面（或二者兼而有之）与事故相隔开的原因，是长期形成的影响，如由于零件磨损、设备腐蚀等。

3. 间接原因

以间接的方式对事故起作用的原因，如领导人管理不严，工人缺乏教育和训练等。

4. 最近事故原因

是指在时间上或空间上最接近于事故的原因，或是没有其他间接原因而直接引起事故的原因。

（二）事故率

按照国家标准的规定，按工时数、单位产品或在职工人数等统计上报的事故数。我国国家标准《企业职工伤亡事故分类及调查分析规则》GB6441—86规定的企业上报工伤事故时使用的计算方法有：

1. 千人死亡率

表示某时期内（一般按一年计），平均每千名职工中，因工伤事故造成死亡的人数。