

ANQUAN

JIEGOU LILUN

# 安全结构理论

金智新 著



科学出版社

# 安全结构理论

金智新 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是一部关于安全科学理论研究的专著,在因素状态空间的架构上,利用集合理论及相关的数学方法给出了具有一定普适意义的安全概念的新定义,以及基于集合理论的系统安全测度分析,并以此构建了安全结构理论体系。该理论的核心在于揭示人类活动的属性与安全事件属性间的内在逻辑关系结构,通过安全关系结构的分析,能够建立可控的活动环境与安全事件的因果联系,最终为构建各种领域的安全管理系统提供数学分析工具。

内容包括安全科学与技术发展现状、安全问题的分类、安全能量流结构分析、集合理论基础、因素空间的事件属性与安全表述、安全结构函数、安全事件属性测度与活动环境安全分析、随机活动环境的安全分析、安全事件的因素与属性获取、生产安全系统结构及生产安全系统的结构分析与评价方法。

本书可供从事安全科学理论、安全工程技术与安全管理研究的科技工作者阅读,也可以作为相关专业领域的研究生和本科生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

安全结构理论/金智新著. —北京:科学出版社,2012. 12

ISBN 978-7-03-036778-5

I. 安… II. 金… III. 安全科学—理论研究 IV. X9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 036504 号

---

责任编辑:顾英利 / 责任校对:张凤琴

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕 者

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**北京彩虹伟业** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 12 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012 年 12 月第一次印刷 印张:12

字数:223 000

**定价:60.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

安全结构理论是建立在数学集合理论基础上的,以大安全科学研究为背景的一种新的安全科学理论。为便于读者理解该理论的主要原理,我们先对其基本思想作一简要的介绍。

安全与人类的生存、生产和各种活动息息相关。工业社会的发展推进了人类对安全科学的研究,经历了从最初的事故学理论和 20 世纪 50~80 年代的危险分析与风险控制理论研究,80 年代后,人们开始将安全科学作为一个完整独立的、能够适应现代生产与生活方式安全要求的研究对象,探究其本质规律,安全学科理论体系正在逐步发展和完善之中。

目前,人们对安全科学的研究方兴未艾,正处于百花齐放、百家争鸣的状态。在对安全本质的认识基础上提出了诸如安全系统论、安全控制论、安全信息论、安全行为科学、安全环境学、安全协同学、安全哲学、安全经济学、安全组织学、安全工程学、安全法学和安全文化等一系列理论。由于人类认识能力的局限性,对于安全科学的研究常常被分解为若干领域安全问题,如生产安全、公共安全、国家安全、金融安全、信息安全、食品安全等。探究安全科学的本质规律,并将其作为指导现代安全管理科学实践的理论工具仍然是保障人类社会不断发展进步的一项重要课题。

要深入揭示客观事物普遍存在的安全本质规律,首先要对什么是安全问题有正确的认识。我们将各种事故、灾害、危险和损害事件统称为安全事件,已有的安全科学与技术的研究重点几乎都是围绕安全事件产生的形式根源展开的,如“事故致因理论”、“危险源理论”、“能量转移理论”等,都被用以揭示安全事件产生的根源。安全形式根源的多样性致使安全科学无法建立一个统一的分析理论。

人类是安全的主体和核心,在一切与人类活动相关联的事物中都可能存在着安全问题,并且,安全问题就发生在人类的活动过程中。如生产安全问题就是与人的生产活动相关联的,其中许多安全事件就是生产活动所引发的。

本书提出的安全结构理论给出了对“安全问题”的新认识,认为安全问题是人类或物质的活动对其活动环境空间的作用结果。因此,在人的活动中,安全事件是否发生、以及安全事件出现的形式主要取决于人或物质的活动方式和活动环境空间的性质。活动方式与活动环境空间性质的相互作用,是导致各种安全问题的最根本原因。

引入一个符号  $Z$  来表示人或物质的某种特定的活动。

基于上述的基本假设,安全结构理论首先从人或物质的活动的表达入手。为了表达人或物质的活动状态特征,引入了多维因素空间概念,任何一种活动  $Z$  都可以表述为多维(不妨设为  $n$  维)因素状态空间上点的运动轨迹  $x = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ ,通常,  $t$  是一个时间参量,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  分别为各个因素的状态。

在现实世界中,任何一种活动  $Z$  总是存在一个活动范围的界定。例如,生产过程就是人类的一种活动,不同部门的生产有不同领域的限制,它们是活动状态  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  的限制域,这个限制域可以表示为  $n$  维因素状态空间上的子集合,记为  $\Omega$ 。

一个由活动  $Z$  所引发(或伴生的)的安全事件  $V$  总是与活动状态  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  关联,若活动状态  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  可以导致安全事件  $V$  的发生,则称  $x$  为事件失稳点,安全事件  $V$  的所有失稳点构成活动限制域  $\Omega$  上的子集合,称为安全事件  $V$  的失稳域。于是,活动过程中的安全防范任务就是控制活动状态  $x$ ,使其避免进入安全事件  $V$  的失稳域。

综上所述,安全结构理论将活动状态  $x$ 、活动状态的限制域  $\Omega$  和安全事件的失稳域  $V$  作为对某活动过程  $Z$  进行安全分析的三个要素,并引入可测的简约因素状态空间作为描述三个要素的统一坐标框架。基于活动限制域  $\Omega$  和安全事件失稳域  $V$  的测度,描述活动过程  $Z$  的安全型(或危险度),利用活动状态  $x$  与失稳域  $V$  间的度量,刻画活动状态的安全性。

一个完整的安全管理体系应该包括活动过程的安全性分析与评价(包括灾害预测)、安全信息的监测和安全控制决策(对于已经发生的安全事件的治理,不包括在本理论研究范畴中)。在第 7 章给出由活动干预策略空间、因素状态空间、信息空间、外因素扰动和活动安全目标控制五个相互关联模块形成安全系统结构,通过构建模块之间的映射关系组成的安全系统结构是一个由活动(生产)、信息转换、信息监测及目标控制组成的闭环系统,其中,活动(生产)过程中的安全分析、信息整合与信息转换由安全事件的简约因素空间上来实现。

本书第 1 章是在参考大量文献的基础上对现有安全科学与技术发展现状的综述。第 2 章主要分析目前在安全科学分类研究中存在的问题。第 3 章提出一种基于广义能量流结构的安全问题分类方法。第 4 章介绍构建安全结构理论所必备的相关数学基础知识。第 5 章是本书的核心部分,在对安全问题的新认识基础上,提出安全结构理论的基本思想,构建安全事件描述的简约因素空间坐标架,在这个坐标架下构建了相应的安全事件分析的数学方法。第 6 章是对第 5 章的补充,介绍表述安全事件的因素选取方法。第 7 章、第 8 章将安全结构理论运用于生

产安全分析与管控之中,提出生产安全系统结构框架,并以煤矿生产安全管理为例,阐述生产安全结构分析、评价与采煤灾害预测的方法。

安全结构理论是作者在长期从事安全科学研究与工程实践中所凝练出来的,它是作者对安全问题的一种理解和认识。由于方法取决于认识,认识的粗浅势必会带来方法上的缺陷,本书的成稿比较仓促,对安全科学的本质属性还缺少更深层次的探究,自知理论体系尚需完备,还有许多需要扩充和完善的空间,也会存在一些纰漏和谬误,希望得到各位读者的教诲和斧正。

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 安全科学与技术发展现状</b> .....	1
1.1 安全科学的基本概念 .....	1
1.1.1 安全的内涵 .....	1
1.1.2 安全学科的属性 .....	2
1.1.3 安全科学理论体系 .....	3
1.2 事故致因理论 .....	12
1.2.1 海因里希因果连锁论 .....	13
1.2.2 心理动力理论 .....	14
1.2.3 能量转移论 .....	14
1.2.4 瑟利模型 .....	21
1.2.5 撒利模型 .....	22
1.2.6 变化-失误理论(变化分析法) .....	23
1.2.7 轨迹交叉论(事故模型) .....	23
1.3 危险源理论 .....	24
1.4 安全系统工程 .....	26
1.4.1 安全系统的概念 .....	26
1.4.2 安全系统工程的发展过程 .....	29
1.4.3 安全系统工程的内容及其优越性 .....	30
1.4.4 安全系统工程的方法论 .....	33
1.5 安全人机工程 .....	34
1.5.1 安全心理学 .....	34
1.5.2 安全经济学 .....	37
1.5.3 安全法学 .....	48
<b>第 2 章 安全问题分类</b> .....	52
2.1 安全问题分类现状 .....	52
2.1.1 依据领域的安全问题分类 .....	52
2.1.2 安全生产事故分类 .....	53
2.2 安全问题的本性分类 .....	54

---

2.3	危险源与安全直接主体的活动 .....	56
2.4	基于能量流结构的安全分类 .....	57
2.4.1	广义能量 .....	58
2.4.2	广义能量的流动 .....	58
2.4.3	能量流的量变形式 .....	59
<b>第3章</b>	<b>安全能量流结构分析 .....</b>	<b>62</b>
3.1	能量流结构意义下的安全要素 .....	62
3.1.1	安全要素 .....	62
3.1.2	安全要素与能量流结构符号 .....	63
3.2	安全系统能量流结构 .....	64
3.2.1	攻击型能量流结构图举例 .....	64
3.2.2	流失型能量流结构图举例 .....	70
3.3	基于能量流结构分析的安全控制 .....	72
3.3.1	系统能量流结构分析 .....	72
3.3.2	基于能量流结构的安全系统控制 .....	74
3.3.3	基于能量流结构的系统安全分析方法 .....	76
<b>第4章</b>	<b>集合理论基础 .....</b>	<b>78</b>
4.1	经典集合与运算 .....	78
4.2	经典关系及运算 .....	79
4.3	模糊集合与运算 .....	83
4.4	模糊集合的分解定理 .....	86
4.5	模糊关系与运算 .....	88
<b>第5章</b>	<b>因素空间的事件属性与安全表述 .....</b>	<b>91</b>
5.1	因素状态与属性 .....	91
5.1.1	事件的因素状态空间 .....	91
5.1.2	事件的属性 .....	93
5.2	简约因素空间与安全表述 .....	97
5.2.1	事件的活动环境 .....	97
5.2.2	活动环境致因的安全事件因素集 .....	99
5.2.3	因素状态空间与安全结构函数 .....	99
5.3	基于安全结构函数的安全分析 .....	103
5.3.1	事件属性测度与活动环境安全分析 .....	103
5.3.2	随机活动环境的安全分析 .....	106
5.3.3	具有成本的活动环境安全与高危行业评价 .....	108



---

5.3.4 安全事件的危险性	110
<b>第6章 安全事件的因素与属性获取</b>	<b>113</b>
6.1 粗糙集基本理论	113
6.1.1 粗糙集的定义	113
6.1.2 知识与粗糙集的分类背景	115
6.2 安全事件表述的精度	122
6.2.1 因素的近似精度	122
6.2.2 分类的近似精度	123
6.2.3 因素的重要度	125
6.3 事件表述的约简	130
6.3.1 因素的简约与核	130
6.3.2 因素的相对简约	132
<b>第7章 生产安全系统结构</b>	<b>136</b>
7.1 生产活动载体与安全事件形式	137
7.1.1 生产安全事件的形式	137
7.1.2 生产活动载体安全事件的要素	138
7.1.3 生产链与安全关联链	140
7.2 生产活动干预载体灾变的简约因素空间	143
7.2.1 生产活动载体的正、负干预	143
7.2.2 载体干预作用及安全事件的简约因素空间	143
7.2.3 生产安全系统的构建	146
7.2.4 简约因素空间上的生产安全分析	149
<b>第8章 生产安全系统的结构分析与评价方法</b>	<b>156</b>
8.1 关键生产活动点——工位因素性分析	156
8.2 关键生产活动点——载体干预方式分析	160
8.3 生产安全事件的危险性评价	164
8.3.1 命题与推理	164
8.3.2 载体安全事件的模糊推理模型与危险性评价	166
8.4 基于工位因素的干预分析及安全预测	171
参考文献	176
后记	177

# 第 1 章 安全科学与技术发展现状

安全是人类活动与环境危险因素相互作用的对立统一体。安全是人类生存发展最为重要的物质基础,是人类生存发展的第一要素和必要条件,如果没有安全保障,人类为生存所从事各种活动就会受到环境或灾害的威胁。

安全科学是以研究人类生存系统环境中预防与控制伤害为主要目标的一门科学,安全科学与技术的发展直接源于人类的社会生活和生产的需要,同时,随着人类的不断进步和科学技术的发展,新的安全问题也随之不断地产生,人类对安全科学的认识也逐渐从低级走向高级、从感性走向理性、从经验走向科学。

## 1.1 安全科学的基本概念

### 1.1.1 安全的内涵

“安全”是安全科学中的最为本质的概念,由于安全问题几乎涉及人类生存与生产的所有领域,故而,对于“安全”的表述也有很多,例如:

“安全是指不受威胁,没有危险、危害、损失,是免除了不可接受的损害风险的状态。”“安全是人类的整体与生存环境资源的和谐相处,互相不伤害,不存在危险和危害的隐患。”“安全是在人类生产过程中,将系统的运行状态对人类的生命、财产、环境可能产生的损害控制在人类能接受水平以下的状态。”“安全是指不因人、机、媒介的相互作用而导致系统损失、人员伤亡、任务受影响或造成时间的损失。”……国家标准(GB/T 28001)对安全的定义为“免除了不可接受的损害风险的状态”。

从汉字的字面上看,中国人对“安全”的理解是“无危则安,无缺则全”,即安全是指没有威胁、危害和损失。

在传统的安全科学研究中,把存在威胁、危险或遭受损害的直接对象称为安全主体。例如,国家安全问题的安全主体是国家,网络安全问题的安全主体是计算机及其网络,生产安全问题的安全主体是生产过程中人与物组成的系统,铁路交通安全问题的安全主体是整个铁路运行过程中的系统等。

事实上,无论是国家安全、网络安全、生产安全、交通安全,还是食品安全、医疗安全等,它们都是与人类的生活息息相关的,任何一个领域受到威胁,最终都要

威胁到人类。无论任何领域中的安全问题,最终都是对人而言的,是指对人没有直接或间接的威胁、危害和损失的状态。离开了人,就没有安全与不安全之分。例如,地震是一个危及安全的事件,但是发生在海洋深部的地震,只要对人类生活和财产不造成任何直接或间接的影响与损失,就认为是安全的。近些年来,人们开始重视珍稀野生动物的安全问题,那也是因为稀有物种的保护有利于自然界生态的均衡发展,进而有利于人类的生存。又如,在计算机遭到病毒的攻击中,安全的主体表面上是计算机,但是,计算机是人类所使用的信息处理工具,计算机感染病毒的结果是人类社会、经济或生产活动受到损害,最终的安全主体仍然是人,或者说,人是一切安全问题的终极主体。

正因为人是一切安全问题的终极主体,所以,安全也是相对的。对于具有根本利益冲突的两部分人群(如战争中的敌对双方),一方的安全存在往往被视为对另一方的威胁。所以,“安全”只是对某一特定人群或个人而言的。

但是,在安全管理的现实问题中,我们主要还是关心那些存在威胁、危险或遭受损害的直接对象,我们称这些对象为安全直接主体。它可以是人,也可以是社会组织、人的生产活动过程、政治活动、生产资料、设施与资产等。

### 1.1.2 安全学科的属性

安全科学成为一门独立的学科始于 20 世纪 80 年代初。然而,对于安全学科的属性争论一直未停止。

由于安全问题几乎涉及自然科学与社会科学的所有领域,涉及人类生活、生产、生存的所有环节,进而产生了许多领域性安全问题,如:国际关系安全、社会安全、经济安全。其中国际关系安全还可以细分为国家领域安全(包括领土、领海、领空安全)、军事安全等;社会安全包括食品安全、医疗安全、生态安全、交通安全、消防安全等;经济安全包括能源安全、金融安全、网络安全、农业安全、信息安全、生产安全等问题。

也正是由于安全问题涉及领域的广泛性,学者们对安全学科也形成了如下一些认识:

(1) 安全学科是一个跨门类、综合性强的横断学科。

(2) 安全学科是一个跨门类、多学科、综合性、横断性和交叉性的学科。

(3) 安全学科属于既非自然科学、亦非社会科学;既非纵向学科、亦非横向学科的综合学科。

综上所述,一些学者认为,安全学科无本身的专属领域,或者说,安全学科是一门难以被科学界所承认的“杂烩”学科。

要使安全科学成为一门独立的科学,就需要构建一个既适于各种不同的领域

(包括社会、经济、生产、信息等)、又具有自身独特属性的理论体系,也就是说,要摒弃上述对安全学科的各种认识,就必须去发现安全学科的独有属性和普适的规律。

### 1.1.3 安全科学理论体系

任何一门学科都有其独特的学科定位、研究对象和研究方法,形成科学的理论演绎体系。安全科学亦如此。经过几十年的发展,安全科学已经形成了自身的科学体系,有自成一体的概念、原理、方法和系统。

#### 1.1.3.1 安全科学的定义

“安全科学”一词最初在1973年美国创刊的《安全科学文摘》中出现。1981年,德国教授库尔曼在《安全科学导论》专著中首次把“安全科学”作为学科概念做出了解释,他认为:“安全科学的主要目的是使应用技术的危害作用绝对地最小化,或者至少将其保持在可容许的限度内。为实现这一目标,安全科学的特定功能是获取及总结有关知识,并将有关发现和获得的知识引入到安全工程中来。这些知识包括应用技术系统的安全状况和安全设计,以及预防技术系统内固有危险的各种可能性。”在库尔曼的安全科学定义中,将安全科学的研究领域仅局限于技术应用中潜在危险带来的安全问题,没有涉及人们最为关心的社会或军事上的安全,也不涉及与疾病有关的安全问题,显然对安全科学的研究领域的表述是不够的或者说是全面的。

比利时J. 格森教授对安全科学做了这样的定义:“安全科学研究人、技术和环境之前的关系,以建立这三者的平衡共生生态(equilibrated symbiosis)为目的。”此定义将安全科学的研究对象限定在技术的应用安全领域,从系统的角度来全面考察事故,明确指出安全科学以探索技术系统内各种组元运动规律为研究对象,其目标是保障人的安全,避免财产损失,并保护环境,实现人、技术和环境的和谐发展。

1985年,我国学者刘潜将安全科学定义为:“安全科学是一门专门研究人们在生产及其他活动过程中的身心安全(包括安全、健康、舒适、愉快乃至享受)与否的矛盾,以达到保护活动者及其活动能力,保护其活动效率的跨门类、综合性的横断科学。”这一定义将安全科学的研究对象从技术的安全领域,延伸到人类一切活动中危及人的身心安全的其他因素。后来,刘潜教授根据科学技术学的原理,对安全科学的研究内容重新做了界定,将安全科学重新定义为:“安全科学是一门专门研究安全的本质及其运动、转化规律与保障条件的科学。”

还有的学者认为:“研究生产中人-机-环境系统,实现本质安全化及进行随机

安全控制的技术和管理方法的工程学称之为安全科学。”

上述安全科学的定义分别从不同角度揭示了安全科学某一方面的内容。

安全科学与人类生产、科学实践活动中所遇到的危险、异常、隐患、事故、灾害的关系就像几何与现实空间中的具体实体的关系一样,它是以一切危险、异常、隐患、事故、灾害为研究对象的。安全科学研究的是一个理念的、抽象的但又是技术的科学体系,在方法上,与数学、物理、化学中研究一些理想系统是一样的。在研究某种事故规律时,并不是侧重于该事故是甲是乙,而是用逻辑抽象的办法研究其规律。也就是说安全科学是研究危险和事故规律的科学。学科不同、专业不同、生产科研过程不同,却存在事故的相似性。规律是知识体系的核心,只有掌握了危险因素、危险状态及转化变化为事故的规律时,才能正确地解释事故现象、预测事故发生的规律,安全科学才能真正建立起来,揭示安全事件的本质,研究和掌握安全事件发生的规律,是安全科学的重要任务。

长期以来,发展安全技术的驱动力是人类在应用有关技术时从损害中获得的经验。然而,这种经验只在有限的认识能力范围内取得,它所感知的只是损害与原因之间简单的因果关系,而不是洞察许多不同现象之前普遍的因果关系。为了从简单的因果分析或仅以单一组元为研究对象的感知模式中解脱出来,安全科学要处理系统中包含的各种组元,不仅需要处理那些由人、机器、环境及其相互作用构成的安全技术、产业安全和污染控制的许多问题,还需要揭示人的身心免受外界因素危害的安全状态及保障条件的本质与其变化规律、影响因素及转化条件,研究消除或控制危险和转化条件的理论和技术,为人们提供安全科学的思想方法。由于安全问题的广泛与过程的渗透性、突变性的特点,安全科学需要研究整个工程领域、生产领域的复杂大系统才能实现安全科学任务。当今时代已经具备研究复杂现象、大系统的条件。过去人们只是研究单一的事故及其规律,研究某一行业、某些工程领域,如果不能按照哲学抽象的逻辑推理和分析的方法研究其共同规律,建立起理论科学体系,就不能实现这个目的。

综上所述,我们将安全科学定义如下:安全科学是研究事物安全与危险矛盾运动规律的科学。其主要研究内容为:研究事物安全的本质规律,揭示事物安全相对应的客观因素及转化条件;研究预测、消除或控制事物安全与危险影响因素和转化条件的理论与技术;研究安全的思维方法和知识体系。

### 1.1.3.2 安全科学中的基本概念与研究对象

#### 1) 安全科学的状态概念

安全科学的状态概念,是指能够对事物安全状态进行定性描述的基本概念。

**概念 1** 安全:事物的主体受到损伤在某一限度内的状态,该限度可以根据具

体事物对安全度的要求来确定。

**概念 2 危险**:事物的主体受到损伤和威胁超过了某一限度的状态。

**概念 3 事故**:事物的损伤量达到极限值而发生的原事物的局部或整体秩序紊乱与瓦解的状态。自然界的事故状态称为灾害。

#### 2) 安全科学的本质概念

安全科学的本质概念是指能对事物安全性态进行本质性描述的基本概念。

**概念 1 损伤**( $E$ ):事物在内、外因作用下随时间的破坏量。

$$E = F(I, W, t) = H(A_d / A_0) = H((A_0 - A_e) / A_0)$$

其中, $I$ 表示造成事物损伤的内因; $W$ 表示造成事物损伤的外因; $t$ 为时间; $A_0$ 表示事物的整体; $A_d$ 表示事物整体中受到损伤的部分; $A_e$ 表示事物整体中未受到损伤的部分。

**概念 2 安全度**( $S$ ):描述事物保持安全状态的概率值。

$$S = 1 - S_d$$

其中, $S_d$ 表示事物可能发生事故状态的概率,也即危险度。

**概念 3 寿命极限**( $T$ ):事物仅在内因作用下损伤量达到极限的时间,或事物从诞生经理想环境过渡到事故发生所经历的时间。

$$T = T(E_{\max}),$$

其中, $E_{\max}$ 表示事物损伤的最大极限值。

**概念 4 系统**:进行安全状态研究的对象,是一个或多个事物的集合。

#### 3) 安全科学的过程概念

安全科学的过程概念指能对事物安全性态进行动态描述的基本概念。

**概念 1 秩序**:事物自身的组成、结构和内部运行规律。

**概念 2 安全流变**:事物的损伤量随时间变化的量变过程。

**概念 3 安全突变**:事物从危险状态到事故状态的质变过程。

#### 4) 安全科学的研究对象

安全系统是由人-机-环境构成复合系统。从灾害根源上看,事故是人-机-环境系统出现异常状况的结果。从另一角度,人类安全活动所追求的是保护系统中的人、技术、设备及环境。从实现安全的手段上看,除了技术措施,还需要人的合作、环境的协同。因此,安全科学的研究对象可定义在某一特定领域的人-机-环境系统。图 1-1 表示简化的人-机-环境系统,包含三个子系统,即人的子系统、机器的子系统、环境的子系统。这里的“机”是广义的,它包括劳动工具、特定的机器(设备)、劳动手段以及其他任何技术产物。

在人-机-环境系统中,各个子系统都不是孤立存在的,而是相互作用、相互联系的。首先,机器的设计、制造、安装和使用都是由人来进行的,而人与机器发生

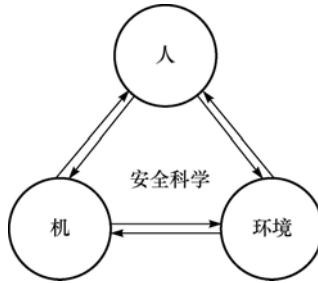


图 1-1 安全科学研究对象

作用的时候,也就暴露在机器的危害之中,这是人和机器的相互作用。此外,人在操作、控制机器的时候,要作用于环境,例如,一座生产着的造纸厂就会产生污水、废气和固体废弃物等污染环境。反之,环境系统也会作用于人、机两个子系统,例如声、光、热等环境会影响人的思维和行为,影响机器的寿命,而震耳欲聋的噪声环境容易使人得病,地震、地下水位等环境因素则会影响城市建筑、水库大坝等。图 1-1 包含了无数重叠的子系统 and 反馈过程。人类生活的空间可以看作是一个庞大的人-机-环境系统,根据不同的研究目标,可将此系统进行分解。由于我们所涉及、关心的安全主要是人们的生产、生活领域中的安全,所以,在考查与研究时,人们选用的主要是人类在生活和生产领域的人-机-环境系统,如家庭、交通和产业中的人-机-环境系统。人-机-环境系统的安全性取决于各子系统的特性和子系统之间的交互作用,以及系统与外部环境的相互影响。

人-机-环境系统工程的研究内容可用图 1-2 来形象地予以描述。它包括 7 个方面:人的特性的研究、机器特性的研究、环境特性的研究、人-机关系的研究、人-环境关系的研究、机-环境关系的研究、人-机-环境系统总体性能的研究。

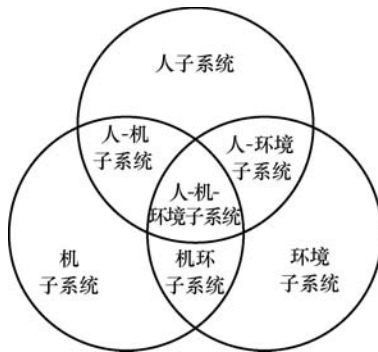


图 1-2 安全系统元素构成及关系图

### 1.1.3.3 安全科学的研究方法

由于安全科学理论基础的多学科性以及安全科学研究人员从业背景的多样性,安全科学的研究也具有多样性。在安全科学的研究方法中,既有自然科学的研究方法,又有社会科学的研究方法;既有定量的方法,又有定性的方法,同时还有定性与定量相结合的综合集成的方法。安全科学的研究方法体系可视为多种研究方法交叉组合、综合运用系统集成。

#### 1) 观察法

观察法是人们对自然现象在自然发生的条件下进行考察的一种方法。观察是人们初步感知安全问题、认知安全科学的一种方法。从安全科学发展史看,早期人们仅从自然现象中去观察、观测一些危险和事故。通过大量的观测,分析归纳总结出隐藏在现象(经验材料)背后的一些安全现象及规律,得出一些结论,并由此可以解释一些自然现象。早于人们干预自然能力的限制,即使在科学技术高度发达的今天,也仍然存在无法用人工方法重现自然现象的领域。只有经验材料十分完备、准备可靠,才能在这些材料的基础上建立正确的概念和理论,揭示对象的本质和规律。因此,观察法不仅在古代非常重要,而且在今天仍然十分重要。

#### 2) 实验法

实验法就是人们根据研究的目的,应用科学仪器人为地控制、创造或纯化某种自然过程,使之按预期的进程发展,同时在尽可能减少干扰的情况下进行定性或定量观测,以探求该自然过程的变化规律。实验法是安全科学最直接、最常用的方法之一。通过安全工程实验,人们可以获得关于事故原型的信息,认识各类危险、各种事故的行为。

#### 3) 假说法

科学假说是针对某一旧理论无法说明或解释新事实和新现象,在资料收集比较丰富的基础上,提出的一种假定性理论说明。这个假说是否正确或能否上升为科学理论,要求对材料和现象进行一系列的逻辑推理和观察实验论证。如果论证结果正确,就要逐步系统化和合理化使之成为普遍接受的科学理论。哥白尼的“日心说”和开普勒的行星运动定律在很大程度上是一种数学假说,这种数学假说是基于毕达哥拉斯学派“数学的和谐性”思辨,但不是先验的,为了论证假说,他们运用了大量的数学方法来分析归纳行星运动。开普勒对此就有很明确的表示:“有效的数学假说必须是在观察到的世界中能够严格地加以证实的假说。”在假说论证过程中必须要以严密的逻辑推理来保证。最早对假说引入一套完整的逻辑推理的笛卡儿,为了辩护他的涡旋假说,他提出了“以直观—演绎的逻辑方法为核



心,以事实验证为补充”的逻辑模式。伽利略在反驳亚里士多德的论断时,也曾在假设的基础上,运用逻辑推理的方法进行论证。科学假说在近代后期成为了一种重要的研究方法,同时带动了分析、比较、分类、归纳、演绎等逻辑规则的运用与发展,为辩证的发展奠定了基础。

#### 4) 归纳与演绎方法

归纳和演绎是两种不同的推理和认识现实的科学方法。归纳法指从具体事实到抽象理论的过程,从数据或证据出发推出结论。事实支持结论,而结论解释事实,归纳出结论是一个推理上的飞跃。演绎法则是指从抽象理论到具体事实的过程,它的结论必然能从前提推导出来,如前提为真则结论为真。演绎法常可理解成归纳的逆向思维。演绎从一般到具体,从解释到事实,而归纳从具体到一般,从事实到解释。事实上,在安全科学研究过程中经常需要综合运用两种推理方法。当观测到一项事实并产生“为什么”的疑问时,归纳推理出现,人们将提出一种初步的解释(假设),如果能解释面临的事实或事件则假设合理。至于是否能解释这个事实或事件,根据是否正确,又要凭借演绎思维。在实际研究中,演绎和归纳方法总是相互交替运用。图 1-3 所示的华莱士(W. L. Wallace)总结的科学研究过程推理模型,理论、假设、观测和经验概括四要素形成没有终端的研究工作循环。将些模型分成左右两半的话,右边 T—H—O 表示演绎推理过程,先以某种理论为根据提出假设,然后观测事实,验证此假设;左边 O—E—T 表示归纳推理过程,先观测事实,再进行经验概括,经验概括就是根据统计数据和事实,概括出经验定律或经验公式,然后将此经验公式纳入理论体系,作出机理解释。如将此模型分成上下两半,则上半部 E—T—H 表示理论研究内容。经验概括只适合于一定的时空环境,仍然停留在经验层次上。经过研究者的猜想、想象、洞察和思辨对此经验概括提出机理解释,形成新假设或命题,以至形成新理论或修正,充实原有理论。这种由经验概括上升到理论的过程,实际上是经历了认识上的一次“飞跃”,并非是靠观测事实和规则概括就能推导出来的,需要研究者的直觉判断。在形成新理论基

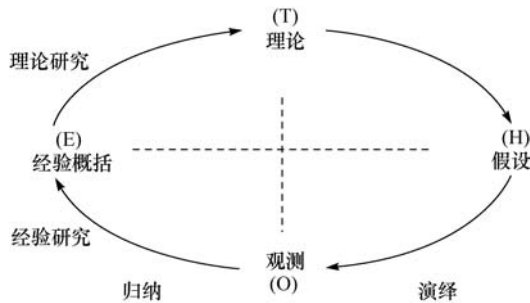


图 1-3 归纳与演绎的关系

基础上,又可演绎出新的假设。模型下半部 H—O—E 表示经验研究即实证研究,提出以一种假设作研究的起点,然后观测事实,并通过统计分析总结这些观测结果,证实或证伪最初的假设。

华莱士模型表示观测、经验概括、理论和假设四个要素直接或间接相互作用。从经验概括到理论(E—T)是机理解释的过程,T—H 是以理论为根据臆测出某种假设的过程,H—O 是设计收集数据和事实的方法以验证假设的过程,而 O—E 则是统计分析从数据和事实中定量地辨识出变量间关系的过程。然而,此模型中上、下和左、右部分无法分离,实证研究中假设的提出离不开以现有理论为出发点,而理论研究也离不开在观测事实基础上的经验概括。理论推理与经验论证以及演绎推理与归纳推理的互动,形成研究工作的良性循环。具体的研究工作可能只包括其中一个或几个阶段,但都与此模型中的其他阶段互相关联,理论和观测事实不能脱节。例如从观测到经验概括阶段,这段工作价值的大小直接受制于所要验证的假设的价值。同样,在理论演绎推出假设的阶段也要考虑到假设在现实生活中验证时所应用的事实。

#### 5) 系统分析法

系统分析方法来源于系统科学。系统科学是 20 世纪 40 年代以后迅速发展起来的一个横跨自然科学与社会科学的新兴学科,它从系统的角度去考察和研究整个客观世界,为人类认识和改造世界提供了科学的理论和方法。系统科学的产生和发展标志着人类的科学思维由主要以“实物为中心”逐渐过渡到以“系统为中心”,是科学思维的一个划时代突破。

系统分析方法就是按照事物本身的系统性把对象放在系统的形式中加以考察的一种方法,强调从整体与部分相互依赖、相互渗透、相互制约的关系中揭示系统的特征和运动规律。系统分析方法不仅是安全科学研究最基本的方法,而且是解决相关安全问题的重要手段。

系统概念的范畴很广,通常包括系统的定义、结构、层次、实体、属性、行为、功能、环境、演化与进化等。在自然界和人类社会中,凡是具有特定功能、按照某些规律结合起来相互联系、相互制约、相互作用、相互依存的事物总体,均可称为系统。为了便于分析、研究、控制和管理,可从不同角度对其进行各种分类。广义地讲,系统包括自然系统和人工系统,工程系统和非工程系统,并有简单系统与复杂系统,中小系统、大系统和巨系统之分。由于构成系统的实体、属性、行为及环境等方面的内容各异,一个独门的系统总是以其特有的外部表征和内在特性而区别于其他系统,系统内部各要素的综合作用决定了整体性。在分析和解决安全问题时,不能孤立地、静止地、片面地处理系统的不安全因素,必须强调系统整体动态的安全,对各要素统筹兼顾,增加安全因子的整体功能,削弱危险因子的整体

功能。

#### 6) 矛盾分析法

矛盾分析法就是运用唯物辩证法关于矛盾学说的观点,对客观事物的矛盾进行辩证分析的方法。安全现象是诸多矛盾的外部表现,矛盾在不同时期有各自不同的特殊性,在这里必须用质和量两个方面加以分析,矛盾的质发生了变化,事物的安全状态也要发生根本性变化;矛盾的质没有发生变化,但量发生了变化,使事物安全的发展显示出阶段性。如果能深刻认识安全领域中各种矛盾,区分主要矛盾和次要矛盾、矛盾的主要方面和次要方面,并能正确地解决矛盾,就会促进事物的安全发展。

#### 7) 过程还原法

过程还原法就是用现有的科学手段对事物由安全向危险转化的过程进行再现,并据此研究和发现这一过程的规律和方法。事故的发生发展过程遵循其自身的发展规律。研究事物由安全向危险发展的过程不能只从过程的表面出发,必须对事物发生和发展过程进行深入调查和分析,由表面特性入手寻找这一发展过程内在的根本原因和发展规律。由于安全科学本身的学科属性和特殊性,即以研究事物发生事故的发展过程为主要研究内容,而事故的发生基本是不能再现的,也很难进行现场实地实验,因此,过程还原法是安全科学研究方法所固有的独特的研究方法。过程还原法主要有如下几种:依靠人的记忆和经验还原;管理制度、文件资料和记录数据还原;现场痕迹还原;逻辑推演还原;模拟实验还原和计算机数值模拟还原等方法。在安全科学研究过程中,一般都采用多种还原方法综合进行。还原的目的在于深入研究事物安全与危险的转化过程,发现导致过程秩序紊乱、隐患产生和扩大,最终导致事故发生的关键环节和问题,得出其规律性,汲取教训,采取有效防范措施,预防、控制事故的重复发生。

事故发生后进行调查就是过程还原法的典型应用。事故调查是掌握整个事故发生过程、原因和人员伤亡及经济损失情况的重要工作,它根据调查结果分析事故责任,提出处理意见和事故预防措施,并撰写事故调查报告书。事故调查的主要程序包括组成调查组,进行现场痕迹勘察与取证、人员调查询问、资料查阅、事故鉴定、模拟试验等,并收集各种物证、人证、事故事实材料(包括人员、作业环境、设备、管理、事故过程材料)、调查结果是进行事故分析的基础材料。事故树分析(逻辑推演还原)是从结果到原因找出与灾害有关的各种因素间因果关系和逻辑关系的分析法。模拟实验是充分收集事故现场及其诸要素而进行的一种还原事故的实验。由于绝大多数事故现场所反映出来的事故发生信息都是支离破碎或残缺不全的,对事故现场的模拟恢复也多是完整的、局部的和片段的。计算机深化模拟则是根据事故现场收集的一些基本数据、图片资料,

利用计算机三维空间模拟系统,还原出事故发生过程,并对事故后果进行模拟分析。

### 1.1.3.4 安全科学的学科体系

安全问题不仅涉及人,还涉及人可以利用的物,其知识涉及面较为广泛。安全科学以物质在各种状态和条件下是否能够产生危险、构成事故为研究的共同点,在概念、语言、方法等方面筑起了一座座贯通的桥梁,建立起一门新兴科学。安全科学本质上不仅包括自然科学,而且包括社会科学,是社会科学与自然科学的交叉学科,具有跨学科、交叉性,横断性、跨行业性等特点。安全科学的结构见图 1-4。

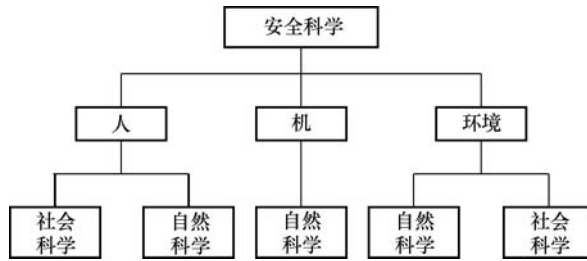


图 1-4 安全科学是社会科学与自然科学的交叉学科

安全科学以不同门类的学科为基础,经过几十年的发展,已经形成了自身的科学体系,有自成一体的概念、原理、方法和系统,安全科学的学科体系见图 1-5。

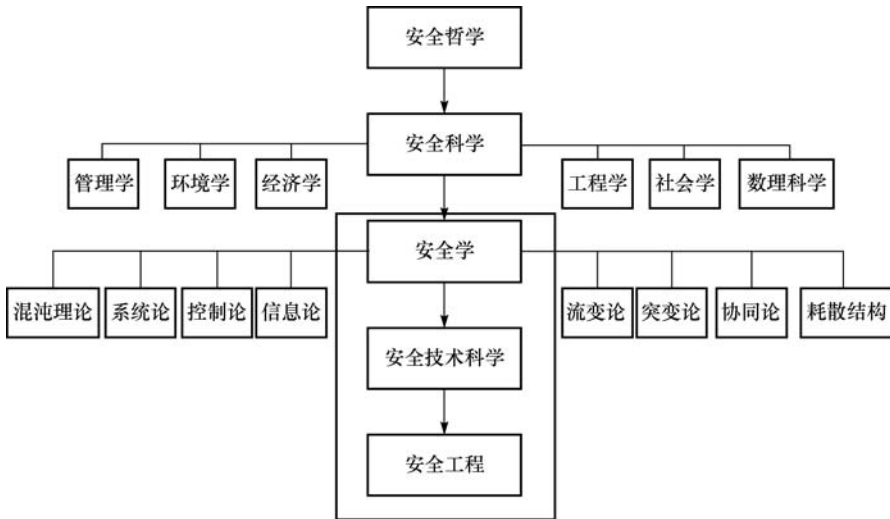


图 1-5 安全科学的学科体系层次

哲学层次是安全哲学,即安全观、安全认识论、安全方法论。它是安全科学的最高理论概括,是认识、揭示安全本质的思维方法。

科学层次是安全科学。它研究安全的范畴、基本概念、定义及其与其他学科体系的关系,确立安全科学的内涵与外延。

基础科学层次是安全学。它包括安全科学的基本原理和研究方法,揭示事物安全运动的基本规律。

安全技术科学层次是安全学结合不同工程学分支而形成的具体技术原理与方法,并通过不断的实践检验和修正,形成该工程学科分支所特有的安全技术。

工程技术层次是安全工程。它是运用安全学和安全技术科学直接服务于安全工程的技术方法,包括安全的预测、设计、施工、运转、监控等工程技术。

安全科学五个层次的知识内容,从纵向(安全哲学到安全工程)看,是相互交叉、互为基础的。这些科学知识体系以安全技术内容和工程条件为核心,没有这些核心内容,知识体系和工程技术体系是建立不起来的。安全科学理论体系是一种抽象的系统,但它离不开工程实践,以工程实践为基础又作用于工程实践,既是工程的一部分,又离开各自的依附体,独立成其系统。从横向看,这五个层次是相互联系、协同作用的。只有从整体上发展安全科学,人类的安全状况和水平才能得到提高,从而满足人类日益增长的安全需要。

安全科学是一个不断发展的学科,其应用领域涉及社会、文化、公共管理、行政管理、建筑、土木、矿业、交通、运输、机电、林业、食品、生物、农业、医药、能源、航空等种种事业乃至人类生存的各个领域。作为一门交叉性边缘学科,一味强调它的独立性而忽视与其他学科的融会贯通是不科学的,当今的学科发展注重学科与学科间的互动,安全科学只有在不断借鉴和运用自然科学以及社会科学理论方法的基础上互相吸收、互相促进、丰富自身、完善自身,才能使其作为独立学科的根基更加牢固。

## 1.2 事故致因理论

最具影响的研究是由海因里希(H. W. Heinrich)于20世纪二三十年代提出的“事故致因”理论,也称为“事故因果连锁论”。该理论认为:事物的不安全状态和人的不安全行为是导致伤亡事故的两个直接原因。

事故致因理论的重点是解释事故发生的原因、规律,以及如何针对事故致因因素采取防范措施。

事故致因理论是一定生产力发展水平的产物。在生产力发展的不同阶段,生

产过程中存在安全问题有所不同,特别是随着人在工业生产过程中的地位的变化、引起人的安全观念的变化,使事故致因理论不断发展完善。

几种有代表性的事故致因理论如下。

### 1.2.1 海因里希因果连锁论

又称多米诺骨牌理论。在该理论中,海因里希借助于多米诺骨牌形象地描述了事故的因果连锁关系,即事故的发生是一连串事件按一定顺序互为因果依次发生的结果。如图 1-6 所示,一块骨牌倒下,则将发生连锁反应,使后面的骨牌依次倒下。

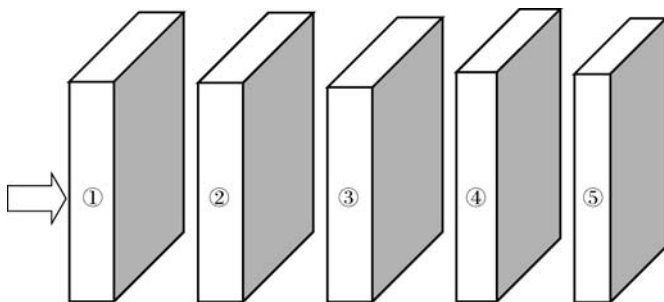


图 1-6 海因里希因果连锁

其中各个骨牌的含义分别为:

① 社会环境和管理欠缺。通常是指家庭生活状况或工作环境状况不好、人际关系不协调、经济困难、工作压力大、安全教育不够、安全规范不健全、工作纪律差等。

② 个人的欠缺。即个人的身体及精神状态欠佳,如个性粗暴无情、轻浮、幼稚、傲慢、自暴自弃、过分兴奋、误解、烦闷、担心、不满、嗜酒、睡眠不足、过度疲劳、身体状况不好、无视安全规章、知识和技术缺乏等。

③ 人的不安全行为和物的不安全状态。不安全行为是指造成事故的人为错误,主要常表现在冒险作业,高速操作,未经许可就进行操作,错误地运行设备,人为地使安全装置失效,向同事发出错误的警告或进行错误的防护,不适当地使用个人防护设备,不正确地装载、放置设备或物体,作业姿势不良,作业位置不当,不正确地进行运输、提升,对运转中的设备进行检修,投掷工具,赤脚作业,开玩笑等。

不安全状态是指能导致事故发生的物质条件,主要常表现在没有充分的支撑或防护,使用不良的工具、设备或物资,工作场所过分狭小或条件恶劣,没有良好的预警系统,存在火灾和爆炸危险,工作面顶板破碎,地质水文条件复杂,存在着

危险的大气条件(气体、粉尘、烟雾、水蒸气),噪声过大,照明不好,通风不良,工艺过程不合理,作业方法不当,安全整顿差等方面。

④ 事故。发生了与人的意志相违背的事情,是指前 3 种因素经连锁反应,使潜在的危险暴露出来,暂时或永久地迫使生产停止。

⑤ 人身伤亡。由于事故发生而导致人体伤害。

若按因果顺序,伤亡事故为 5 个因素所造成:①的发生促使②的发生,而②的发生又造成③的发生。③的出现促成了④的发生,由于④的发生,产生了⑤的结果。

显然,如果紧紧相挨的 5 个骨牌的前 3 个中任一个倒下,则后边的骨牌也就接连倒下。这就表明,事故和伤亡之所以产生是由于前 3 个因素的作用。事故是在时间的过程中显现出来的,它是组成要素的一种连锁反应的结果。诚然,若能采取措施,防止或避免第一、第二个骨牌倒下,则不会导致下一步的倾倒,就可避免事故和伤亡的发生。然而,由于第一、第二个骨牌所包含的是社会环境、管理和个人欠缺因素,所以在实际工作中要做到防止“倾倒”是件难事。若抽掉中心的“③”骨牌,那么,即使第一、二张牌倒下,也不至于发生事故。从预防事故和伤亡出发,在事故预防中,应集中精力,设法消除骨牌③,使系列中断,则可避免事故和伤亡的发生。由此可见,安全工作的中心应放在排除人的不安全行为和物的不安全状态,消除事故隐患。

### 1.2.2 心理动力理论

该理论是由弗洛伊德(S. Freud)解释精神病成因的个性动力理论引申而来。认为肇事者是由于受到某种精神上的刺激或较大的心理压力才下意识地产生不安全行为而导致事故的发生。该理论指出:通过更改人的愿望满足的方式或通过心理咨询分析消除那种破坏性的愿望,就可以避免事故的发生。

### 1.2.3 能量转移论

20 世纪 60 年代,吉布森(Gibson)、哈登(Haddon)等对事故的概念定义如下:事故是一种非正常的或不希望的能量释放,各种形式的能量是构成伤害的直接原因。但该方法不适用于研究、发现和分析不与能量相关的事故致因。

#### 1. 能量意外释放论事故模型

第二次世界大战以后,科学技术有了飞跃的进步,新技术、新工艺、新能源、新材料、新产品不断出现,与日俱增。这些新技术、新工艺、新能源、新材料、新产品在使工业生产和人们生活面貌发生巨大变化的同时,也给人类带来了更多

的危险。面对生产、生活中出现的越来越多的新危险,人们必须研究、采取更有效的安全防护措施。先进的科学技术和发达的经济为此提供了技术手段和物质基础。

为了有效地采取安全技术措施控制危险源,人们对事故发生的物理本质进行了深入的探讨。1961年吉布森、1966年哈登等人提出了解释事故发生机理的能量意外释放论(图 1-7)。认为事故是一种非正常的或不希望的能量释放。生产、生活中经常遇到各种形式的能量,如机械能、热能、电能、化学能、电离及非电离辐射、声能、生物能等,它们的意外释放都会威胁安全。

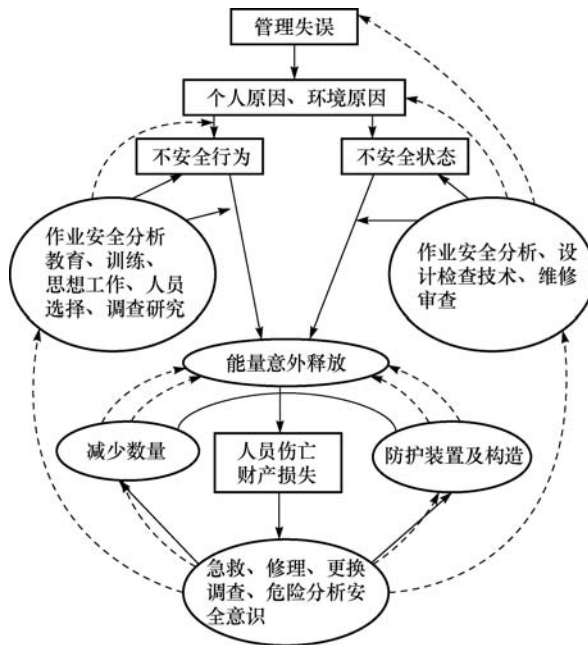


图 1-7 能量观点的事故因果连锁

意外释放的机械能是导致事故时人员伤亡或财物损坏的主要类型的能量。机械能包括势能和动能。处于高处的人体、物体、岩体或结构的一部分具有较高的势能。当人体具有的势能意外释放时,发生坠落或跌落事故;物体具有的势能意外释放时,发生物体打击事故;岩体或结构的一部分具有的势能意外释放时,发生冒顶、坍塌等事故。运动着的物体都具有动能,各种运动中的车辆、设备或机械的运动部件,被抛掷的物料等具有较大的动能。意外释放的动能作用于人体或物体,则可能发生车辆伤害、机械伤害、物体打击等事故,或财物损坏事故。意外释放的电能会造成各种电气事故。意外释放的电能可能使电器设备的金属外壳等导体带电而发生所谓的“漏电”现象,当人员与带电体接触时会遭受电击;火花放



电会引燃易燃易爆物质而发生火灾、爆炸事故;强烈的电弧可能伤及人体等。

现代生产、生活中到处利用热能,失去控制的热能可能烫伤人体,损坏财物,引起火灾。火灾是热能意外释放造成的最典型的事故。应该注意,在利用机械能、电能、化学能等其他形式的能量时可能产生热能。

据文献报道,自工业革命以来,世界上大约以每 20min 就有一种新的化学产品问世的速度增加化学物质的品种。在众多的化学物质中,相当多的物质具有的化学能会导致人员急、慢性中毒,致病、致畸、致癌。火灾中化学能转变为热能,爆炸中化学能转变为机械能和热能。

非电离辐射主要为 X 射线、 $\gamma$  射线、紫外线、红外线和宇宙射线等射线辐射。工业生产过程中常见的电焊、熔炉等高温热源放出的紫外线、红外线等有害辐射会伤害人的视觉器官。电离辐射主要有  $\alpha$  射线、 $\beta$  射线和中子射线等,它们会造成人体急、慢性损伤。

造成事故发生的原因可以分为直接原因和间接原因两类。

造成事故发生的直接原因是危险物质与能量的意外释放。

譬如冒顶事故,其造成伤害,就是因为石块原有的势能的释放而造成的。因顶板在工作面上方不动时,它本身具有的势能不向外释放,当它往下掉落时,则表明它的能量向外释放。当它释放的能量作用于人体时,伤害事故就会发生。又如触电,是电能往外释放作用人体而造成的。又如气体中毒或窒息,它是由于有毒物质(如 CO、CO<sub>2</sub> 等)的释放而造成的,所以说,事故的直接原因实际上就是能量或有害物质的意外释放。

除了极个别的情况之外,如果没有上一级原因的触发,一般直接原因是难于发生的。例如,若支护得很好,一般不会发生冒顶;如不会漏电,电就无法释放;如果通风情况很好,CO、CO<sub>2</sub> 就不会积聚而造成意外释放等。

从能量意外释放理论出发,预防事故就是控制、约束能量或危险物质,防止其意外释放,防止伤害或损坏;就是在一旦发生事故,能量或危险物质意外释放的情况下,防止人体与之接触,或者一旦接触时,作用于人体或财物的能量或危险物质的量尽可能地小,使其不超过人或物的承受能力。

在安全工程中防止能量和危险物质意外释放,防止人员伤害和财务损失的主要技术措施有以下几种:

- (1) 用安全的能源代替不安全的能源。
- (2) 限制能量。
- (3) 防止能量蓄积。
- (4) 缓慢地释放能量。
- (5) 采取防护措施。

(6) 在时间上或空间上把能量与人隔离。

(7) 采用各种警告措施等信息形式的屏蔽。

人们把触发直接原因发生的原因称为间接原因,间接原因主要有不安全行为和不安状态两部分组成。不安全行为是造成直接原因发生的人为错误;不安状态是造成直接原因发生的物质和环境条件。

值得提出的是,人和物因素可互为因果,如有时是设备的不安状态导致人的不安全行为;而人的不安全行为也会促进设备出现不安状态。譬如人接近转动机器部位进行作业,就有被机器夹住的危险,这属于不安全行为;又如在冲压作业中,如果人为违章拆除安全装置(不安全行为),那么设备就将处于不安状态,就有压断手指的危险。

在间接原因的两大因素中,人的不安全行为占主要的地位,纵然工伤事故中的直接原因是能量的释放,但除了天灾之外,一般的能量范畴也都是由人来控制的,所以,了解人的不安全行为对预防事故是重要的。

不安全行为的主要表现:

- (1) 危险作业和高速操作;
- (2) 未经许可就进行操作;
- (3) 错误地运行设备;
- (4) 无视安全,忽视警告操作;
- (5) 人为地使安全装置失效;
- (6) 向同事发出错误的警告或进行错误防护;
- (7) 不适当地使用个人防护设备;
- (8) 不正确地装载、放置设备或物体;
- (9) 采取不正确的作业姿势和选择不适当的工作位置;
- (10) 不正确地进行运输、提升等;
- (11) 在有危险的、处于运行中的设备装置上工作或行走;
- (12) 对运转中的设备进行检修。

不安状态的主要表现:

- (1) 没有充分地支撑或防护;
- (2) 不良的工具、设备或物资;
- (3) 工作场所过分狭小或条件恶劣;
- (4) 没有良好的预警系统;
- (5) 有火灾和爆炸的危险;
- (6) 工作面顶板破碎,地质水文条件复杂;
- (7) 存在着危险的大气条件(气体、粉尘、烟雾、水蒸气);

- (8) 噪声过大；
- (9) 照明不好；
- (10) 通风不良。

目前,人们有时把导致间接原因发生的事件称为基本原因事件,但确切地说,间接原因仅是事故的一种表现,实际上,基本原因可以回溯至不良的管理、个人因素和环境因素。

基本原因包括:不良的管理、个人因素、环境因素。

其中,不良管理包括:

(1) 无明确的安全目标,挪用安措费用,不认真实施事故防范措施,对安全隐患整改不力;

- (2) 劳动组织(与安全有关)不合理;
- (3) 没有使用必要的记录;
- (4) 安全责任、权力不清;
- (5) 没有安全作业规程或作业标准不完备;
- (6) 对现场指导和监督不力;
- (7) 检查走过场;
- (8) 指挥不力和指挥失误;
- (9) 没有必要的通风设施;
- (10) 劳力选择和使用不当;
- (11) 不注意职工的安全教育与培训;
- (12) 设备、仪器仪表的设计、安装布置、维护检修有缺陷以及购置不当;
- (13) 未制定灾变时的急救、避灾措施。

个人因素主要包括动机、能力、知识、训练程度、安全知识和经验、工种的适应性、操作行为、体力和智力状态、反应灵敏度、个人的小心程度等。

环境因素主要有工作环境中的地质、水文、气象、矿井的生产条件等因素。

上面分析了基本原因事件,即导致间接原因事件发生的事件。

人的不安全行为的比率占得很大,所以,在事故的预防中,人们一定要特别重视。在上述分析中已说过,人的不安全行为主要是由管理不良和个人因素所造成的。为了能更深入地了解导致人的不安全行为的发生原因,进一步的深入讨论是必要的。

## 2. 人的不安全行为的分析

### 1) 人的行为动机

对于人的不安全行为的分析,首先从人的行为、动机和心理状态开始讨论,另

外,还应研究使人产生失误的主要原因。

首先,应看到,人的行为来自动机,而动机产生于需要。人的需要是从低级到高级排列层次的。

对一个人而言,他所涉及的需要虽然很多,而且每个人的需要也不太一样,但就最基本的需要而言,它可分为五类,而且是从低到高的顺序排列的。

人的第一需要是生理上的需要,如食、住、衣、行,这是最起码的。马斯洛认为,当用以维持生命的生理需要还未得到满足时,其他的需要不会激励他们。

安全需要是人的第二基本需要。按人们直观的常理可知,任何一个人都不希望受工伤,不希望生病,需要安定和不受侵害,这是人的本性,这也是“安全需要”的体现。

一般而言,在生产过程中,谁都想安全地工作,例如,煤矿工作人员都希望每天高高兴兴地下井去,平平安安回家来。所以说,以安全生产为目标的行动是由需要产生动机而进行的一种正常动作。

尽管人们出自于“安全需要”而想安全地工作,但人作为一个有思想的、行动自由的“系统”,他常受环境和物的影响,有时心理过程会变得非常复杂,在不同条件下,有时会使人把正常动作变为不安全动作——改变目标,从而构成伤亡事故的一个因素,有遭受不幸的潜在危险。这可以用图 1-8 所示的心理系统图简单表示。

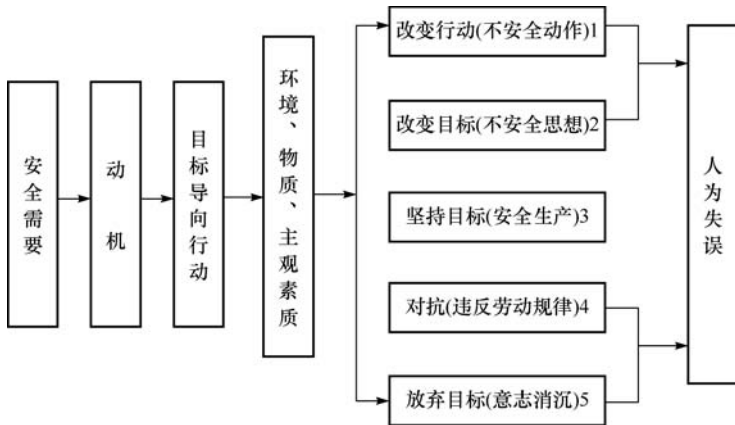


图 1-8 人类心理系统示意图

人出自于安全的需要,一般说来,在生产过程中,其动机都是想在安全状态下进行生产。在这一动机的指使下,每人必有一个目标而导向自己的行动,但在不同的环境、物质条件下,可能导致不同的行动 1、2、3、4、5,而 1、2、3、4、5 则可能导致人为失误的出现。

因而可以看出,人所处的环境、物质条件、主观素质的不同,将可导致不同的行动结果。这就是一个人的心理系统过程。

在一般概念中,人为失误常被称为“违章作业”的不安全行为。“违章作业”是造成事故的间接原因,目前所统计的事故表明,由“违章作业”所造成的事故的比例是相当大的,所以,对于“违章作业”应进行更深入的分析 and 了解。

## 2) 违章作业起因与心理因素

对于这个问题,我们着重于从心理学的角度来分析。通常,违章作业起因与心理因素的关系有三个相互联系的内容,则把它分成 A、B、C 三大类。

### A 类:

- (1) 有意违反安全规程;
- (2) 无意违反安全规程;
- (3) 放纵地喧闹、开玩笑,分散本人或他人注意力;
- (4) 安全操作能力低,工作缺乏技巧;
- (5) 与人争吵,心境不佳;
- (6) 匆忙行动,行动草率过速或行动缓慢;
- (7) 无人道感,不警告别人;
- (8) 超负荷工作,力不胜任;
- (9) 承担超心理能力的工作。

### B 类:

- (1) 没经验,不能查知事故危险;
- (2) 缓慢的心理反应和心理上的缺陷;
- (3) 各器官缺乏协调;
- (4) 疲倦、身体不适;
- (5) 工作中找“窍门”,图省事;
- (6) 注意力不集中,心不在焉;
- (7) 职业、工种选择不当;
- (8) 有夸耀心,贪大求全。

### C 类:

- (1) 激情、冲动、喜冒险;
- (2) 训练、教育不够,无上上进心;
- (3) 智能低,无耐心,缺乏自信心,无安全感;
- (4) 家庭原因,心境不好;
- (5) 恐惧、顽固、报复或身心有缺陷;
- (6) 工作单调,或业余生活单调乏味;

- (7) 轻率、嫉妒；
- (8) 不受重用,身受挫折;情绪不佳；
- (9) 自卑感,或逞能、渴望超群。

上述的 A、B、C 三类不尽全面地给出了“违章作业”的起因与心理因素间的内容。人不一样,表现的形式也不一样,在三类中,是相互交叉的,也就是说,有的人违章起因可能仅限于 A、B、C 中的其中某条,有的也许是各类中都有一些。

如果我们能了解掌握心理与起因的关系,在日常工作或事故中,就可以有的放矢地做工作,这样对安全是有利的。

纵观上述的几个事故模型及其他方面的分析,可以看出人的不安全行为、物的不安全状态、管理问题、环境等是造成或激发事故发生的主要原因,而事故是上述众多因素的多元函数,其表达式为

$$A=f(\text{人、物、环境、管理})=f(M_1、M_2、M_3、M_4)$$

这就是有名的 4M 法。

#### 1.2.4 瑟利模型

1969 年由美国人瑟利(J. Surry)提出的,是典型的根据人的认知过程分析事故致因的理论。该模型把事故的发生过程分为危险出现和危险释放两个阶段,无论在危险出现阶段还是在危险释放阶段,如果人的信息处理的每个环节都正确,危险都能得到消除或控制,不会带来伤害或损害。

瑟利模型不仅分析了危险出现、释放直至导致事故的原因,而且还为事故预防提供了一个良好的思路。即要想预防和控制事故,首先,应采用技术的手段使危险状态充分地显现出来,使操作者能够有更好的机会感觉到危险的出现或释放,这样才有预防或控制事故的条件和可能;其次,应通过培训和教育的手段,提高人感觉危险信号的敏感性,包括抗干扰能力等,同时也应采用相应的技术手段帮助操作者正确地感觉危险状态信息,如采用能避开干扰的警告方式或加大警告信号的强度等;第三,应通过教育和培训的手段使操作者在感觉到警告之后,准确地理解其含义,并知道应采取何种措施避免危险发生或控制其后果;同时,在此基础上,结合各方面的因素做出正确的决策;最后,则应通过系统及其辅助设施的设计使人在做出正确的决策后,有足够的的时间和条件做出行为响应,并通过培训的手段使人能够迅速、敏捷、正确地做出行为响应。这样,事故就会在相当大的程度上得到控制,取得良好的预防效果。如图 1-9 所示。