

空中交通管理新概念丛书

# 空中交通 系统安全管理

KONGZHONG JIAOTONG XITONG ANQUAN GUANLI

KONGZHONG JIAOTONG XITONG ANQUAN GUANLI

施和平 著

厦门大学出版社

# 空中交通 系统安全管理

施和平 著

## 图书在版编目(CIP)数据

空中交通系统安全管理/施和平著. —厦门:厦门大学出版社,  
2003. 5

(空中交通管理新概念丛书)

ISBN 7-5615-2070-0

I. 空… II. 施… III. 空中交通管制-航空安全-安全管理  
IV. V335. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 039940 号

厦门大学出版社出版发行  
(地址:厦门大学 邮编:361005)  
<http://www.xmupress.com>

[xmup@public.xm.fj.cn](mailto:xmup@public.xm.fj.cn)  
福建沙县方圆印刷有限公司印刷

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷  
开本:889 × 1194 1/32 印张:11.875 插页:2  
字数:319 千字 印数:1—2500 册  
定价:40.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

## 内容简介

本书是国内首部以自主研究成果为主的空中交通管理学术著作,是作者将现代安全管理思想与空中交通管理实践相结合的理论创新成果。

作者在书中首先概述了安全管理、空中交通安全管理和空中交通安全管理系统的基本内涵。在第二章至第四章中,分析了现代安全管理系统的资源、机制和效能,比较深刻地揭示了现代安全管理的核心问题。在第五章至第八章中,作者运用新学科思想探讨了空中交通安全的周期性现象及对策、人为安全管理因素、电子计算机辅助安全管理和安全可持续发展等现代空中交通安全管理的热点问题。

本书论述深入浅出,观点新颖,语言精练,虽实例分析侧重于空中交通管制,但其安全管理理论对飞行、航务管理和系统管理等人士都具有很好的启发和借鉴作用,也可作为相关专业的教材和研究参考资料。

# 前 言

对于资本密集、技术密集、人才密集和高管理风险的现代空中交通系统,安全管理已经不可能仍然完全延续传统的人力和经验来进行。安全管理的现代化已经成为整个空中交通系统现代化的重要组成部分。

这是一个具有挑战又充满机遇的时代,现代新学科理论已经为我们准备了解决复杂问题、模糊问题乃至混沌问题的工具,尤其是近代新兴的系统论、控制论和信息论及突变论、协同论等新理论事实上早已为开创更加完善的空中交通安全管理理论提供了更加充分的条件。而空中交通科学技术的迅速发展及规模化,也早已对传统的空中交通安全管理经验提出了挑战,21 世纪的空中交通安全管理必将成为更加科学和富有理性的社会活动。

本人虽学识浅薄,但幸能锲而不舍,继《空中交通管理新论》后又历时数年完成此作。书中虽然初步分析了空中交通安全管理的资源、机制和效能等三个基本环节和现代空中交通系统的安全管理热点问题,但受篇幅限制,针对航空公司、机场安全管理的论述未能完全展开,加之写作时可以直接借鉴的学术成果较少,因此,书中观点难免粗浅甚至可能存在错误,祈望读者不吝指正。

在本书出版之际,感谢民航系统领导对本书的关心和有关专家对本书的指导。

作 者

2003 年 1 月 6 日于厦门

# 目 录

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 第一章 系统安全管理概论.....           | (1)   |
| 第一节 安全的内涵.....              | (1)   |
| 第二节 安全管理概述.....             | (6)   |
| 第三节 系统安全管理概述.....           | (9)   |
| 第四节 安全管理系统 .....            | (18)  |
| 第五节 安全管理系统工程 .....          | (26)  |
| 第二章 系统安全管理资源 .....          | (34)  |
| 第一节 安全管理资源概述 .....          | (34)  |
| 第二节 安全管理资源的供需均衡 .....       | (40)  |
| 第三节 空中交通系统的安全管理资源投入分析 ..... | (50)  |
| 第四节 空中交通安全管理资源的市场化问题 .....  | (60)  |
| 第三章 系统安全管理机制 .....          | (76)  |
| 第一节 系统安全管理机制概述 .....        | (76)  |
| 第二节 系统安全管理机制的基本作用 .....     | (81)  |
| 第三节 系统的信息透明及对称 .....        | (91)  |
| 第四节 系统的安全管理控制机制分析.....      | (100) |
| 第五节 系统安全管理的消极作用机制.....      | (108) |
| 第四章 系统安全管理效能.....           | (127) |
| 第一节 系统安全管理效能概述.....         | (127) |
| 第二节 系统安全管理效能的完整性.....       | (138) |
| 第三节 系统安全管理效能的分布.....        | (141) |

---

|        |                               |       |
|--------|-------------------------------|-------|
| 第四节    | 系统安全管理效能的评价与改进·····           | (150) |
| 第五节    | ATM 系统的安全管理效能·····            | (165) |
| 第六节    | ATM 系统安全管理效能的可靠性分析·····       | (176) |
| 第五章    | 安全管理的周期性现象及对策·····            | (184) |
| 第一节    | 系统安全管理周期·····                 | (184) |
| 第二节    | 空中交通系统的安全管理周期·····            | (196) |
| 第三节    | 基于资源配置的周期形成机制及<br>安全管理对策····· | (222) |
| 第六章    | 安全管理中的管理者因素·····              | (240) |
| 第一节    | 系统安全管理中的管理者因素概述·····          | (240) |
| 第二节    | 对 ATM 系统中人的因素的比较分析·····       | (253) |
| 第三节    | 安全管理中的人为失误对策·····             | (272) |
| 第七章    | 电子计算机辅助安全管理·····              | (284) |
| 第一节    | 电子计算机辅助安全管理概述·····            | (284) |
| 第二节    | CASM 中人的因素建模·····             | (290) |
| 第三节    | CASM 中的系统和环境因素建模·····         | (302) |
| 第四节    | 面向 ATM 的 CASM 技术·····         | (313) |
| 第八章    | 系统安全管理的可持续发展·····             | (336) |
| 第一节    | 系统安全管理的可持续发展概述·····           | (336) |
| 第二节    | 资源与空中交通安全管理可持续发展·····         | (354) |
| 第三节    | 信息资源与空中交通安全管理<br>可持续发展·····   | (365) |
| 主要参考文献 | ·····                         | (371) |

# 第一章 系统安全管理概论

本章主要概述安全、安全技术、安全管理、系统安全管理和安全管理系统等方面的基本概念,并初步论述安全管理系统工程问题。

## 第一节 安全的内涵

安全是社会发展的前提和基础。安全管理是人类为自身生存和发展所进行的有目的的管理活动。安全(Safe)按字面意思为“无危则安,无损则全”,但安全概念在不同的历史阶段,针对不同的对象和领域有着不同的内涵。

### 一、安全的自然观

狂风暴雨、洪水猛兽、山崩地裂、病毒瘟疫等自然现象威胁着人类的生存和发展,早在落后的狩猎、农耕时代,安全就成为人类的本能需要。

中国最早的诗歌总集《诗经》写道:“迨天之未阴雨,彻彼桑土,绸繆牖户。”这就是说要趁着天未下雨时就取来树皮缠缚好窗户(以防风雨的侵袭)。

《战国策·楚策四》道:“亡羊补牢,犹未为晚。”《韩非·喻老》说:“千丈之堤,以蝼蚁之穴溃;百尺之室,以突隙之烟焚。”告诫人

们千丈的堤坝会因为蝼蚁的小洞穴而决口,百尺的高屋会因为烟囪冒出来的烟火而被焚毁。

近四千年以来,中国平均每半年就要发生一次严重自然灾害。在科学技术非常落后的情况下,虽然曾经有过大禹治水的壮举,但人类对大自然更多的是无知和无奈。“听天由命”的思想非常普遍,由此产生了人类对生存、发展问题的一系列非理性观念,甚至企图通过祭祀等宗教迷信方式去回避灾难。

随着人类活动范围的扩展,人类活动对自然影响的加剧,自然灾害问题已经更加严重化、全球化(如温室效应等问题)。近代,安全的自然观随着人类对自然认识的加深而不断发展,目前已经初步形成了以分析自然灾害发生、发展规律和积极防患于未然、减少灾害损失为主的,更加系统而科学的安全自然观。

## 二、安全的技术观

进入工业社会后,科学技术对人类的反作用不断增强,来自于人类自身的安全威胁逐步突显。

1898 年在美国发生了第一起汽车车祸,其后全球死于车祸的人数已超过 2000 万人。目前全球平均每年约有 50 多万人死于车祸。

1984 年 12 月 3 日,美国联合碳化物公司剧毒化工原料泄露,在印度博帕尔造成 2000 多人死亡,5 万多人双目失明或严重伤残,有 20 多万人受害。

1986 年 4 月 26 日,原苏联切尔诺贝核电站事故当即造成半径数十公里地区的严重核污染,短期内就有数以千计的人受到核伤害,其后遗症至今未能完全消除。

1986 年 1 月 28 日和 2003 年 2 月 1 日,美国“挑战者”号和“哥伦比亚”号航天飞机因技术故障发生爆炸,人机俱毁,损失惨重。

1996 年 11 月 12 日,在新德里上空,因人为失误,沙特阿拉伯

航空公司的一架 B-747 客机与哈萨克斯坦航空公司的一架 IL-76 货机在 1.5 万英尺高空相撞,造成 302 人死亡、两机全毁。

2000 年 7 月 25 日,法国航空公司一架协和式客机因起落架轮胎爆破而导致在起飞过程中坠地爆炸,当即造成 109 人死亡。

2002 年 7 月 1 日,在德国南部(属瑞士管制区),敦豪快运公司的一架 B-757 货机与俄罗斯巴什基尔航空公司的一架 TU-154 空中相撞,造成 71 人死亡。

事实证明,如果仅认为系统是为人“做功”就过于乐观了,系统常常也是难以驾驭和善于“报复”的东西。今天,技术所造成的“人祸”常常具有与自然灾害相似的恶果,技术的报复甚至会威胁到人类的生存和发展。随着人类劳动工具的现代化,机器系统对于人类安全的威胁日趋加剧,促进了现代以安全系统工程理论为核心的安全技术观的形成和发展。

### 三、现代安全观

大规模、自动化和具有连续性、高速运行能力的大系统已经成为普遍的现代化生产工具,如何防止因微小缺陷而导致系统损毁和避免系统对“外界”的破坏已经成为非常重要的课题。

现代科学理论丰富多彩,不同专业领域对安全有着不同的理解和定义,因此,要给出一个高度统一的安全定义较为困难。这不是说我们对安全的研究太少,而恰恰反映了安全是一个具有丰富内涵的概念。

20 世纪末至 21 世纪初,人们对安全的基本认识可以归纳为三种类型:安全是系统的一种无危险状态(见《牛津词典》),安全是系统控制风险的可靠性程度,安全是系统安全效能的产出情况。现代的安全概念已经不再局限于自然或技术层面,而具有了更加广泛的含义。现代安全观是更加全面和理性的安全观,它具有下列基本特点:

### (一)安全问题国际化和国家化

现代生产运行系统聚集着很高的能量,一旦失控,其破坏作用将是空前的,如严重核污染将造成持久的全球性灾难,化工、原油泄露等将造成持久的地区性灾难。因此,很多技术领域内的安全问题不仅是一个系统本体能否正常生产运行的问题,而且是一个直接影响到系统之外诸如人类自然生存环境、生命、财产,甚至社会稳定等涉及公众生存和发展的重大利益问题。这类系统的安全保障往往成为有关国际组织和相关国家所管制的公益性事业,并且受到法律的严格约束。

### (二)系统安全管理思想日趋成熟

现代社会解决安全问题的方式和方法已经在传统经验基础上产生了理性的飞跃,形成了以系统安全为对象的安全管理科学。通过对系统安全问题的数理分析和评价,人们已经能够更加科学地预报和更加有效地预防安全问题的发生,并将其损失减少到最低的程度。

### (三)安全成为服务产品

随着安全对系统生存与发展重要性的不断升级,在技术密集、大规模、高价值、高风险系统中,安全管理已经从传统的生产管理中逐步分化出来而成为自成体系的专门管理领域,并且正在向专业化方向发展。在许多技术领域内,安全保障已经形成了专门的技术、机构和供需关系,而使得安全成为向特定系统输入的服务性产品。空中交通安全管理就是由空中交通管理系统为现代空中交通所提供的安全性服务产品。

### (四)安全服务产品呈现商品化趋势

安全服务不是凭空产生的,它必须依赖于一定的系统资源消耗。在市场经济条件下,安全资源主要来源于市场,产出安全服务产品的市场成本和用户对安全服务产品的需求决定了安全服务产品所具有的商品性。

由于对安全服务产品的品质和数量仍缺乏有效的衡量标准,从市场角度验证安全服务产品是否合格或数量多寡目前还比较困难;对决定安全服务产品价格的用户需求与供给能力的量化也还很不充分;同时也存在着担心安全服务产品商品化后,在利益驱动下容易导致安全服务质量降低的思想障碍。这些问题随着安全管理理论的完善,安全管理的专业化、产业化和市场化发展,将得到逐步解决,安全服务产品有价值而无价格的情况终将得到改变。

现代安全的量化用安全性(或安全度)来表示,其取值  $S$  通常为  $1 \geq S \geq 0$ 。安全的对称概念是不安全,事故是不安全的结果,它是对系统所产生的人员伤亡、财产损失等不良后果的总称。

现在人们仍习惯于把“是否发生事故”作为衡量安全的标志,其实事故不是判断是否安全的惟一标志。因为即使没有不安全的结果,仍然可能存在不安全的过程。系统中只要有导致事故的因素存在,它就不可避免地置系统于危险境地,因此,即使在科技高度发达的今天,事故已经相对罕见,但现实中系统的不安全状态却仍然非常普遍。

#### 四、空中交通的安全观

空中交通安全即空中交通活动的安全,它是对空中交通活动的安全状态、安全过程和安全结果的专业化认识、分析和判断。基于现代安全观的空中交通安全概念可以泛指:

1. 空中交通活动的无危险状态,即对航空器等空中交通工具在运行过程中无危险状态的识别和描述。这种安全概念主要定位于对现象的观察和分析,如对航空器有无威胁安全的故障和有无与障碍物相撞等情况的识别和评价。

2. 控制空中交通活动风险的可靠性程度。由于空中交通活动是空中交通系统的控制对象,系统的控制过程对应于空中交通活动安全状态的变化过程,所以系统的可靠度也比较直观地反映了

空中交通活动的安全性,形成了分析系统机制、面向运行过程的空中交通安全概念。

3. 空中交通系统所产生的、能够满足空中交通活动所需的效用。由于空中交通系统的效用往往决定了空中交通活动的安全状态,因此,也常常把空中交通系统所产出的、能够满足空中交通活动所需的效用称为空中交通安全,这是一种基于系统产出结果的空中交通安全概念。

从现象角度观察、过程机制分析或产出结果判断等形式所得出的空中交通安全概念并不是孤立的东西,应该说过程是一系列现象的连续,结果是机制的效用,而机制又体现在过程之中。在对安全的认识中,现象是由浅入深的切入点,结果是最引人关注的直观焦点,而过程和机制则是要害所在。因此,从特定角度定义空中交通安全概念虽然有利于突出某个侧重面,但实际研究空中交通安全问题时仍然必须充分把握安全含义的全面性、综合性和系统性。

空中交通安全的特征值通常以飞行小时或飞行架次为量纲。对于全球性或长期性的宏观空中交通安全性,通常以平均每百万飞行小时或每百万飞行架次所发生的事故或事故征候数为特征值(见图 1-1);对于局部或较短时期内的空中交通安全性,通常以平均每万飞行小时或每万飞行架次所发生的事故或事故征候数为特征值。

## 第二节 安全管理概述

人的不安全行为和系统的不安全状态只是为发生事故提供了可能,但有效的安全管理可以及时发现和充分认识这些不安全行为和状态,并积极消除或控制其危害,以达到避免或减少事故发生

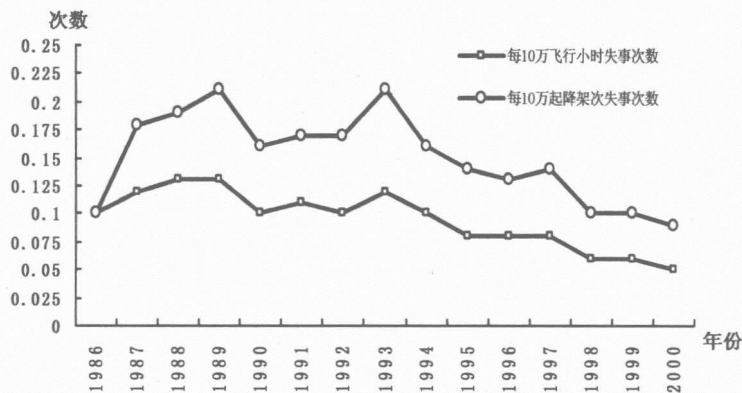


图 1-1 世界民航定期航班(起飞全重 2.25 吨以上)失事情况

的目的。

## 一、管理与安全管理

《左传·襄公十一年》中说:“居安思危。思则有备,有备则无患。”告诫人们即使处于平安之中也要想到危险,只有想到危险才能有所准备,有了准备才能避免祸患(确保安全)。中国古人对安全问题并非完全是“听天由命”,应该说很早就形成了对安全问题的“管理”意识。

虽然说安全管理(safety management)原理与管理学理论都是伴随近代工业生产而产生、发展起来的,但安全管理科学的形成要比一般管理学滞后得多、发展也缓慢得多。海因里希的《工业事故的预防》是安全管理的代表作,但它比泰罗的《科学管理原理》(古典管理学代表作)晚了近 20 年。

一般管理学理论远比安全管理原理深厚,到目前为止,它已经形成了:以泰罗、法约尔等人为代表的科学管理学派,认为管理就是计划、组织、指挥、协调和控制等职能活动;以梅奥等人代表的

行为科学学派,认为管理就是做人的工作,是以研究人的心理、生理、社会环境影响为中心,激励员工的行为动机,调动人的积极性;以西蒙等人为代表的现代管理学派,认为管理的重点是决策,决策贯穿管理的全过程。

一般管理科学的快速成长带动了安全管理科学的形成和发展,其新理论、新观点不断充实和发展着安全管理内涵,到 20 世纪后叶,开始逐步形成了以安全系统工程理论为核心的现代安全管理科学。20 世纪 80 年代以来,安全科学(safety science)在经济发达国家普遍兴起:1981 年德国学者库赫曼发表的《安全科学导论》被译成英、日、法等版本,广为传播;1989 年第一届世界事故与伤害预防会议召开,1990 年第一届国际职业安全卫生会议召开;特别是 1990 年 9 月在德国召开的“第一届世界安全科学大会”,第一次把人类的安全问题作为明确的科学研究对象,这标志着把对人类面临的技术灾害问题的研究推向了更高层次的学术境界。

作为交叉学科或管理科学的一个重要分支,现代安全管理包含了 20 世纪以来各基本管理学流派所诠释的主要管理内涵,一般管理学理论和相关专业理论是分析研究现代专业化安全管理问题的两大重要理论基础。

人的不安全行为,物、财、信息和技术的不安全状态往往足以破坏系统对资源的有效利用,甚至损毁系统,情况严重时可以导致系统崩溃。因此,安全状况是衡量系统运行状态的必然标志。安全是系统的一种有效生存状态,它寓于系统的全寿命过程中。安全是制约系统生存的、与生俱来的管理目标。

一般认为,安全管理是利用人力、物力、财力、技术、信息等资源实现安全目标的过程。它通过运用计划、组织、指挥、协调、控制等管理功能使系统产生安全效能,制约不安全因素作用,以保证系统诸要素的安全及正常运行。

## 二、空中交通的安全管理

安全管理在不同专业领域内具有不同的内涵。空中交通安全(air traffic safety)的广义管理主体涉及政府和航空企业等多方面,覆盖了空中交通工具的制造、适航和运行等宏观环节,其运行环节中的直接安全管理主体是航空公司、机场和空中交通管理系统。

国际民航组织(ICAO)将空中交通安全分为:飞行安全、防止非法干扰、客舱安全、地面安全、危险品运输、应急救援等六个基本方面。其中飞行安全、地面安全是空中交通管理系统的基本安全管理任务,防止非法干扰、应急救援是与空中交通管理系统密切相关的安全任务。本书中的“空中交通安全管理”概念通常是指以空中交通管理系统为主体的安全管理,其基本安全管理目标是“防止航空器与航空器相撞,防止航空器与障碍物相撞”。

对空中交通的安全管理采用系统安全管理方法,它的广义安全管理对象是空中交通系统的状态,目标是保障空中交通活动的安全。其管理活动不仅具有计划、组织、指挥、协调、控制等一般管理的功能,而且还具有空间利用、监视、控制、冲突处理、协同和信息处理等高度专业化的管理功能,以使其安全管理行为在遵循一般管理规律的同时又能按照专业化要求,充分利用空中交通管理系统的资源,高效、可靠地实现空中交通安全目标。

## 第三节 系统安全管理概述

随着安全管理对象的规模和复杂性的不断增加,对安全管理动态性和整体性等要求的不断提高,以及系统观念在管理领域内的广泛渗透,系统安全管理(system safety management)的思想和

方法已经成为现代安全管理的主流思想和方法。

### 一、系统安全管理的概念

系统安全管理是一种现代化安全管理方法,它是以系统论观点来认识、分析和解决安全管理问题的科学途径。系统安全管理与一般非系统安全管理的区别在于:以系统论观点分析、研究安全管理系统的结构、功能和效用;以系统工程方法解决安全管理系统问题;综合采用各种现代新学科理论和相关专业知识,改善系统的整体安全管理状况。

实施系统安全管理的首要前提是建立符合安全管理要求的对象系统。根据系统成因、属性和形态,对象系统的建立可从实体、概念等不同角度进行,以形成体现不同专业化特点、适合于分析研究特定问题的具体安全管理系统,满足解决不同安全管理问题的需要。

系统安全管理的一般对象是系统(在这里,前一个“系统”是指一种思想方法,后一个“系统”是指特定的存在对象),具体管理对象是这些对象系统所包含的各种子系统。系统安全管理的基本管理活动是有目的地控制这些子系统间的相互联系和作用。开展系统安全管理活动必须遵循复杂系统的运动变化规律,按照整体性、动态性、相关性、协调性和优化等原则进行。

### 二、系统安全管理的基本构成

系统安全管理不是凭空产生的,必须凭借一定的物质基础。从功能角度分析,系统安全管理中最基本地包括了安全管理资源(resource)、安全管理机制(mechanism)和安全管理效能(efficiency)等方面。

如果将安全认识为系统效能的有机组合结果,那么:安全管理资源就是安全管理作业系统产出安全效用所必须的、具有特定形