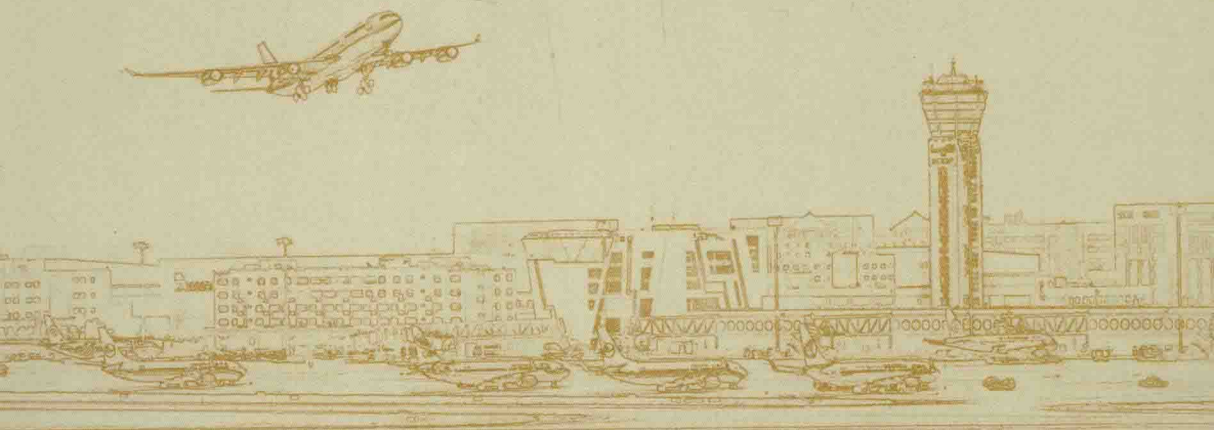


● ATM SYSTEMIC SAFETY MANAGEMENT



空管系统 安全管理

——基于资源、机制和
效用模式的理论与实践

施和平 著

中国民航出版社

空管系统安全管理

——基于资源、机制和效用模式的理论与实践

施和平 著

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

空管系统安全管理: 基于资源、机制和效用模式的理论与实践/施和平著. —北京: 中国民航出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-5128-0186-8

I. ①空… II. ①施… III. ①空中交通管制-航空安全-安全管理 IV. ①V355.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 118343 号

空管系统安全管理

——基于资源、机制和效用模式的理论与实践

施和平 著

责任编辑 王迎霞
出 版 中国民航出版社 (010) 64279457
地 址 北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
排 版 中国民航出版社录排室
印 刷 北京金吉士印刷有限责任公司
发 行 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477
开 本 787×1092 1/16
印 张 20
字 数 379 千字
版 印 次 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5128-0186-8

定 价 69.00 元

官方微博: <http://weibo.com/phcaac>

淘宝网店: <http://shop106992650.taobao.com>

E-mail: phcaac@sina.com

前 言

现代空中交通系统技术密集、资本密集、系统性强且规模宏大，是一个极具挑战性的安全管理领域。社会进步和科技发展，为人们深入认识安全问题、有效驾驭空中交通安全，创造了新的条件和机遇。安全学科理论和应用技术的发展，也为实现空中交通持续安全提供了新的源动力。

2001年和2003年，笔者在厦门大学出版社分别出版发行了《空中交通管理新论》、《空中交通系统安全管理》两部论著，但其后仍感愚昧未解，一系列疑惑萦绕不去。这些年来，几经身不由己的职务变动曾经短期打断了我的思绪，但世俗纷扰终究化为过眼烟云，责任感和探索未知的动力使我坚持不辍。又历经10年，在创建“资源-机制-效用”（RM-E）模式的系统安全理论方面终于有了新的突破。2011年以来，我利用工作之余，苦撰3年终成本著。

RM-E分析模式、安全发展节点预测和安全风险管理系统工程等，这些新观点的原创成文是聚沙成塔的苦修。科学探索虽然孤独，但并不寂寞，贤助郭元花数十年来倾心支持；同事黄俊祥、宋久健和学友施孟瑜等为校稿付出了辛勤劳动；能在专业上有所建树，离不开前辈和领导的关爱和指导；本著由民航特聘专家经费资助出版。在此，一并表示衷心的感谢！

本著在继承前作思想的同时，也是又一次专业反思和自我批判。但因求学不精，书中难免存在粗浅或不当之处，祈望读者不吝批评指教！

目 录

前 言

第一章 系统安全概论	1
第一节 安全观	1
第二节 安全管理	15
第三节 系统安全管理	23
第四节 安全系统工程	30
第二章 系统安全管理资源	37
第一节 系统资源概述	37
第二节 系统投入产出分析	52
第三节 系统资源的供需均衡	69
第四节 系统资源的市场化问题	77
第三章 系统安全管理机制	85
第一节 系统机制概述	85
第二节 系统机制的作用	89
第三节 系统的信息对称	94
第四节 安全管理的控制机制	111
第五节 安全管理的协同机制	117
第六节 安全管理的消极作用机制	126

第四章 系统安全管理效用	148
第一节 系统效用概述	148
第二节 系统效用的完整性	154
第三节 系统效用的分布	157
第四节 系统效用的评价与完善	169
第五节 空管系统的安全效用	179
第六节 效用的可靠性分析	189
第五章 系统安全发展节点	196
第一节 量变质变概念	196
第二节 安全节点预测方法	203
第三节 安全发展节点的预测	220
第六章 安全管理系统工程	231
第一节 安全管理的挑战	231
第二节 安全要素建模	252
第三节 人的因素建模	259
第四节 环境要素建模	264
第五节 创建安全风险管理工作具	268
第六节 创建安全绩效管理工具	284
主要参考文献	311

第一章 系统安全概论

本章联系空中交通领域的安全管理实际，概述了安全观、安全管理、系统安全管理和安全系统工程等概念，为后续章节探讨系统安全理论及其实践问题奠定基础。

第一节 安全观

安全 (Safe)，其字面解释为：“无危则安，无损则全。”为寻求安全，趋利避害是生物本能，也是人类生存和发展的本能。

安全观基于对外部环境的感知而形成，是人们对安全问题的主观认识，是触及安全本质、维护安全利益的认识论。安全观包括安全主体、安全威胁、安全利益维护策略等基本要素，它由维护安全利益的目的性所主导。

一、自然安全观

在不同历史阶段，针对不同问题对象，有不同安全主体、危险源和维护策略，并由此形成了不同的安全观。

洪水、暴风骤雨、瘟疫等自然灾害，自古便威胁着人类的生存。寻求安全的环境，成为人类的本能需要。在生产力低下的渔猎和农耕时代，由于科技相对落后，人类在应对自然威胁时缺乏认知和科学防御。在与大自然的抗争中，人类往往显得被动无奈。这些从古人借助祭祀和占卜，以求消灾避祸的行为中便可见一斑。由此形成的安全观，往往感性地强调服从自然，如此，虽然避免了无畏牺牲，但也导致了一些消极安全观的产生。

随着经验的积累和认识的深化，安全知命观和经验论逐步盛行。中国最早的诗歌总集《诗经》曾写道：“迨天之未阴雨，彻彼桑土，绸缪牖户。”提醒说要

趁着天未下雨，就用树皮缠缚好窗户（以防风雨的侵袭）。《韩非·喻老》中也生动地指出：“千丈之堤，以蝼蚁之穴溃；百尺之室，以突隙之烟焚。”告诫人们千里长堤会因为蝼蚁小洞而决口，百尺高屋会因为缝隙跑烟而失火焚毁，意在提醒人们防患于未然。《战国策·楚策四》中的“亡羊补牢，犹未为晚”，已经成为教导人们吸取安全教训的格言。在古代，中华民族曾经有过大禹治水的壮举，但由于安全知识和经验的历史局限性，听天由命的思想也十分普遍。

到了近代，得益于科技发展，人类对自然的认知能力和改造能力显著提高，人类活动范围不断扩张，对自然灾害的负面影响也变得更加敏感。安全的自然观随着生产力水平的提高、科学技术的进步，和对自然规律的把握、人工影响自然能力的加大等得到丰富和发展。通过继承和发展前人的安全宿命论、知命论和经验论等成果，目前人们已经形成了更加系统而科学的安全自然观。

现代安全自然观对大自然运动所产生的安全威胁具有更加理性的认识，它不仅主张采用现代科技手段来测量和分析自然灾害的发生规律和危害程度，而且主张采用一系列系统工程技术主动防患和减灾，以更好地保障人类的安全利益。现代安全自然观的形成和发展进一步完善了人们的安全认识和方法，是进入工业时代后，人们形成安全技术观的重要思想基础。

二、技术安全观

农耕背景下产生的自然安全观，在工业时代遭遇了技术负面效应的挑战。在工业社会，技术不仅成为人类改造自然的手段，同时亦促进了价值、信息和能量的高度集中，但同时，人们也前所未有地受到技术故障所带来的伤害，源于技术的人为安全威胁，随着技术本身的发展而逐步突显：

1898年，世界上第一起车祸在美国发生。到近年，全球死于车祸的人数已超过2000万，目前全球平均每年约有50多万人死于车祸。

1984年12月3日，印度美联碳化物公司剧毒化工原料的泄漏直接造成了2000多人死亡、5万多人双目失明或严重伤残。

1986年4月26日，切尔诺贝利核电站事故。数十公里的地区遭受严重核污染波及，数以千计的人受到直接核辐射伤害。而事故造成的严重核污染，至今未能完全消除。

2011年3月11日，日本福岛核泄漏事故。由强烈地震引发的海啸，导致福岛第一核电厂发生严重核泄漏，污染物在数日内波及全球。福岛核泄漏事故成为1986年切尔诺贝利核电站事故以来最严重的核事故……

大量事实证明，技术系统不是纯粹的积极工具，它常常也是难以驾驭和善于

报复的东西。技术系统所造成的“人祸”，常常具有与自然灾害相似的恶果。例如由于核能系统的失控，而导致的大范围核污染问题，已经引起人们广泛的关注，甚至核能技术本身，从安全角度已经遭到极端化的否定，产生了人们对去核化问题日益激烈的争议。

随着人们生产和生活设施的进一步技术化，与自然灾害相比较，技术应用所导致的安全矛盾在直接性和频繁性等方面，已经比自然灾害有过之而无不及，出于人们维护安全利益的需要，安全技术观得以形成和快速发展。

现代安全认识论和方法论大都侧重于安全技术观，其中尤以安全系统工程思想为经典。现代安全技术观，为人们认识和解决人为安全威胁，提供了新的思想方法和理论指导。

三、现代安全观

现代安全观不仅综合了自然观和技术观，而且具有更加广泛的内涵。如巨型水坝、核能利用、转基因工程、粮食与能源安全等，都是单从自然或技术角度难以充分认识和有效解决的综合性安全问题。如今，在空中交通系统等复杂工程技术领域内，如何防止因微小缺陷而导致复杂系统损毁，和避免系统对“外界”的破坏（包括对自然环境的破坏），已经成为普遍而重要的安全课题。

在安全的自然观、技术观基础上，借助丰富多彩的科学理论，不同专业领域对安全还有着不同的理解和界定，以致形成了具有不同专业倾向的现代安全观。现代安全观是仍处于发展之中的“大”安全观，它同时关注科技、人文、环境等因素，并贯穿于人类生活、生产和生存发展的全过程。因此，严格定义现代安全观颇为困难，甚至要达成比较一致性的现代安全观也比较困难，“安全”的丰富内涵，仍需要我们不断探索和完善。

目前，人们对安全的具体认识一般可以归纳为三种基本类型，即：（1）安全是系统的一种无危险状态；（2）安全是系统效用的可接受状态；（3）安全是系统控制风险的可靠性程度。前两种观点倾向于将系统黑箱化，简化了对安全管理过程的认识，突出了对安全结果的关注；而后者则倾向于对系统内在安全管理机制的认识，突出了对安全管理过程的关注。

现代安全观是更为全面和理性的安全观，它具有下列基本特点：

（一）系统安全思想日趋成熟

现代社会，人们认识和解决安全问题的途径已经在传统经验基础上产生了理性的飞跃，除定性经验外，已经普遍借助于系统工程方法进行安全分析、预测和

预防。

安全程度的量化通常可用安全性（或安全度）来表示，其值 S 可表达为 $1 \geq S \geq 0$ （其中“1”代表绝对安全，“0”代表绝对不安全），而现实的安全性总是在“0”和“1”之间摆动，呈现相对安全性，安全的可接受状态就是相对安全性程度的一种人为界定。

安全的反义是“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。从结果角度，人们也习惯于把是否发生事故作为衡量安全的标志。但事故不是判断安全的唯一标志，在特定条件下，一个不安全的过程仍然可能形成貌似安全的结果，未发生事故也不能说明安全是可靠的。

从关注过程角度，系统控制风险的可靠性程度不高就代表了安全性不高，定性地说“无不良后果的违章”是不安全的、“不确定的‘无危险’或‘可接受状态’”也都是不安全的。导致事故的因素就是隐患，对隐患的风险控制不足，就可能将系统置于危险境地，并随着时空的推移，“最糟糕”的事终将发生。

尽管亡羊补牢是必要的安全管理措施，但防患于未然才是更有效、积极的策略。只有关注安全过程，才能确保有效地实施主动和前瞻性安全管理，并在有限资源投入下，最终取得安全利益的最大化。

（二）安全服务产品化

1. 产品化

随着安全对系统生存与发展重要性的不断升级，和人们对系统安全认识的逐步深化，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环节中逐步分化出来，成为自成体系的专门领域。

在诸多专业领域内，安全保障已经形成了专门的技术、机构和供需关系，使得安全保障成为特定服务产品，空中交通安全保障就是空管系统为空中交通活动所提供的一种服务产品。

2. 商品化趋势

安全服务必须依赖于一定的资源消耗，在市场经济条件下，安全服务的资源直接或间接地来源于市场，形成安全服务产品的市场成本。在用户需求的驱动下，产生安全服务产品的商品性。

由于目前对安全服务产品的商品化还存在一些认识和实践的障碍，如：（1）从市场角度，验证安全服务产品是否合格或数量多寡比较困难；（2）安全需求

与供给能力的匹配有时难以量化，安全服务产品的定价依据还不严谨，易导致价格争议或形成价格垄断；（3）担心商品化的安全服务，在商业利益驱动下唯利是图、走向劣质化。这些问题制约了安全服务产品价值的直接和有形体现，影响了安全服务的产品化和商品化发展，在一定条件下也成为影响安全发展的消极因素。

（三）安全问题国际化

许多规模化的生产运行系统聚集了很高的能量，一旦失控有难以接受的宏观破坏性。如严重核泄漏将造成旷日持久的地区性甚至全球性灾难，大规模的化工或原油泄漏也可造成持久的地区性灾难，进而对人类的生存和发展造成长期影响。

高危害性安全灾难，通常不仅关乎系统本体的正常运行，而且会成为威胁系统之外生命财产、生态环境，甚至社会稳定等关系人类生存发展的重大安全问题，这类安全问题已成为各国或有关国际组织高度关切甚或严格管制的范畴，有些已经被国际公约、国际法和国家法律所严格管束。

空中交通安全受到国际公约和协定、国家安全生产法、航空法及有关规章的管辖。空中交通事故就其人员生命和财产损失而言是有限的，但事故造成的社会负面影响却远超过水运、陆运等交通方式，空中交通安全是社会公众高度关切的热点问题。

近些年，空中交通发达国家以其技术和管理优势所构建的安全标准壁垒，更加强烈地将空中交通安全问题国际化（如安全审计在 ICAO 推动下已成为一个典型的国际化干预工具），它在刺激各国改善空中交通安全状况的同时，也助长了空中交通发达国家的安全文化输出和技术渗透，使欧美等发达国家在全球空中交通领域内的干预能力（如适航标准、运行标准等）进一步增强，其实际利益得以持续扩张，安全强势在一定程度上形成了业务垄断甚至技术霸权。

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特定认识和判断。

（一）空中交通活动的无危险状态

即空中交通工具在运行过程中，排除了系统故障威胁、相撞威胁、天气威胁和人为破坏威胁等不安全因素，所呈现的安全可接受状态。

(二) 控制空中交通活动安全风险的可靠性程度

系统对空中交通活动风险控制的可靠度，它直观反映了被控对象（空中交通活动）的安全性。是一种通过评价系统安全控制机制的可靠性，来确定安全程度的安全观。

(三) 系统效用满足空中交通活动安全需求

处于系统范畴内的空中交通活动，其安全程度取决于该系统的安全服务能力，也就是系统安全管理效用。系统安全管理效用满足空中交通活动安全需求的程度，成为衡量空中交通安全的标志。

无论以观察结果为定论，还是以控制机制可靠性为定论，或从安全服务供需匹配角度评价空中交通安全，都只能从一个侧面反映空中交通安全的内涵。对空中交通安全的认识，现象是由浅入深的切入点，结果是最容易引人关注的焦点，而过程和机制才是把握安全管理的关键所在。

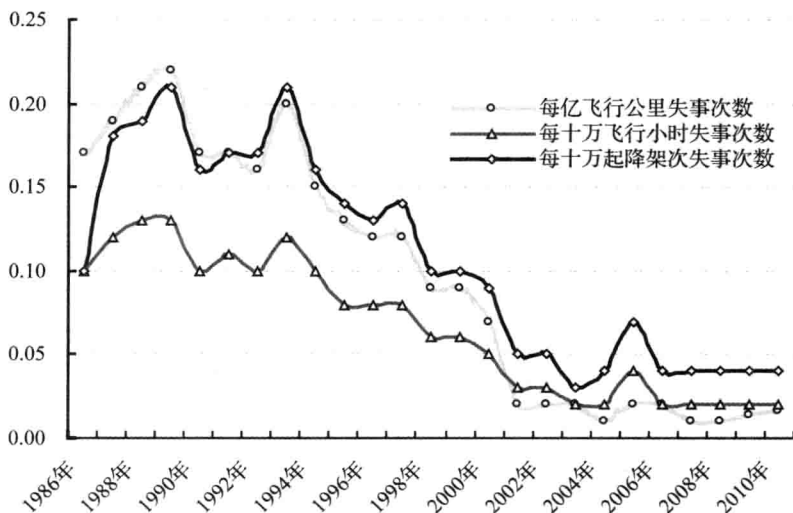


图 1.1 世界民航定期航班事故数统计

从特定角度定义空中交通安全的含义，虽然有利于简化描述、突出某些要素的作用和意义，但研究空中交通安全问题时，仍应注意把握安全含义的全面性、综合性和系统性，以降低对空中交通安全认识的片面性。

空中交通安全的特征值，通常以飞行小时或飞行架次为基本度量单位。对于

全球性或长期性的宏观空中交通安全评价，通常以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评价，通常以每万飞行小时或万飞行架次所发生的事故或事故征候数为特征值。但基于深入研究空中交通安全问题的需要，也可根据安全基本含义和分析侧重面，有针对性地采用安全周期、安全节点、安全风险程度和系统可靠性评价等方式来表达空中交通的安全程度。

上世纪 50 年代至 70 年代，空中交通事故主要由技术原因所导致，因此技术因素（Technical Factors）是这一时期认识和把握空中交通安全的关键；上世纪 70 年代后航空技术日趋成熟，技术系统的可靠性显著提高，人为因素（Human Factors）导致空中交通事故的问题逐步显现，人为因素成为比技术因素更令人关注的空中交通不安全致因；人们在対空中交通事故的研究中，还进一步发现个体行为不是孤立的，他受到运行环境的影响。在上世纪 90 年代，开始形成了综合关注组织因素（Organizational Factors）、技术因素（Technical Factors）和人为因素（Human Factors）的系统安全观。根据 ICAO Doc 9859 AN/474 文件（见图 1.2 中英文部分），人们对空中交通安全问题的认识经历了“技术因素—人为因素—组织因素”的发展过程^[1]：

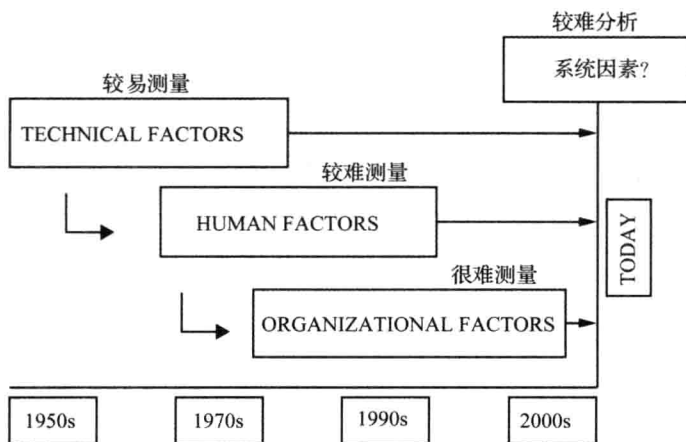


图 1.2 安全认识的进化及发展趋势

1. 从上个世纪初航空业开拓期到大约 60 年代末的“技术时代”，空中交通安全非常脆弱。事故不是每天发生，却也非常频繁。在这个时代根本不存在安全管理系统概念，安全责任主要由离散的个人或极少数人承担。而个人安全行为的构建，主要依赖于大量的技术培训。

2. 从上世纪 70 年代早期到 90 年代中期的“人为因素时代”，逐步形成专业化的安全管理系统。在此期间，伴随着新技术的大规模应用，人们对安全有了更为全面的认识，安全管理开始从个体和局部扩展到整个系统。关注和探寻事故调查以外的安全启示（如对事故征候的调查），建立多层次的安全规章制度等，都对安全起到了促进作用。

3. 从上世纪 90 年代中期到目前的所谓“组织时代”，重大安全事件较少发生，空中交通安全水平大幅提高（全球航空毁灭性事故处于小于 1/100 万架次的水平）。源于上一时代的系统安全观，在这一阶段趋于成熟并得到丰富和发展。

从数理分析角度看三个阶段的关注要素：技术因素通常具有确切的物理尺度和明确的状态标准，可以得到精确测量；人为因素中，人的理性行为具有规律性，比较容易界定和可以测量，但人的非理性行为具有不确定性，因此难以精确测量；组织因素是一个更为复杂的集合体，其定性描述比较容易，但定量描述复杂，且难以测量。将三者综合考虑时，应注意准确把握各因素的数理特征，特别是由于管理者是组织利益最为密切的相关者，追溯安全问题的组织因素等同于问责管理者自身，具有高度的自我批判性和实践的挑战性。

综合关注这三类主因（或更多项主因）的安全观念被简称为系统安全观，它是一种关注系统多因素综合作用的安全观。采用系统安全观分析安全问题时，系统边界的界定是十分关键且容易困扰的问题：对系统边界不给予明确界定，则必然导致漫无边际的关联分析；若界定过于宽泛，则问题分析看似全面却难以深入把握；若边界的定义过于狭隘，则难以实现有效的全面分析。综上所述，系统安全观是个大概念，即使理论上能将各种潜在因素全部概括，形式上显得全面而完美，但实践中容易产生认识多元化的歧见，使安全管理复杂化，进而也加速催生了先进安全管理工具的发展。

五、典型事故致因论

安全和安全观是一个开放和持续发展的概念。人们对安全的认识，以历史时代、社会形态、经济和科技水平为基础，始终处于不断发展和完善之中。实现空中交通安全，是涉及社会科学和自然科学等多领域的复杂系统工程。目前还很难对其安全过程和规律进行精确的数理表达，但其主要特征也是可以描述或一定程度地逼近精确型数理表达的。

最现实和直观的安全含义，就是避免事故。事故致因理论，是在一定安全认识水平下，分析和阐明事故成因，反映事故形成特征，促进安全管理的科学观点。

事故致因论是借助科学理论和方法通过分析大量典型事故，将感性认识升华

为理性观点，经过科学演绎的结果。随着科学技术和生产方式的发展变化，人们对事故致因的认识不断深化，提出了一系列具有代表性的事故机理和模型：

（一）事故频发倾向论

事故频发倾向问题，早在1919年首先引起M. 格林伍德（M. Geerwood）和H. H. 伍兹（H. H. Woods）等人关注，后在E. M. 纽鲍尔德（E. M. Newbold）等研究成果基础上，由法默（Eric Farmer）和查姆博（E. G. Chambers）等人于1939年正式提出。

事故频发倾向论认为：个别人存在稳定的、内在的易发事故倾向。

事故频发倾向者（或特定群体）是否确切存在？这个问题一直饱受争议。近年，许多研究成果对此提出了否定意见，认为并不存在事故频发倾向者（或特定群体）。但另一方面，在安全管理实践中，我们确实可观察到部分容易发生安全偏差的“事故频发者”，虽然这些“事故频发者”的稳定特征目前还难以准确描述，但其存在的客观性亦难以简单否定。

A. 明兹（A. Mintz）等修正了事故频发倾向论，提出了事故遭遇倾向论，其主要观点是：部分人在某些条件下存在易发事故的倾向。加上“某些条件下”，遭遇倾向论似乎比频发论更加符合安全管理客观情况。但同样地，“某些条件”与“事故频发者”的稳定特征还是难以确切描述，其观点同样受到质疑。

在安全管理实践中，事故频发倾向论可以为事故预测和预防提供指引，以强化对特定作业条件和特定个体（或群体）的安全管理控制。如民航业对飞行员、管制员等专业人员的生理和心理筛选、特定专业素质的培养和特定管理要求等，都是意在减少潜在“事故频发倾向者”及其在从事民航高风险作业中导致事故的可能性。而一旦“事故频发倾向者”被确定，这些所谓的“事故频发倾向者”将容易受到管理的不公正对待，形成安全管理的原罪倾向；同时，由于该理论观点对事故致因机理和模式的阐述还不够清晰，借助这一理论观点也较难对事故原因进行深入和客观的分析。

（二）事故因果连锁论

1936年W. H. 海因里希（W. H. Heinrich）首先提出了事故因果连锁论，初步阐述了导致事故的各种因素之间及与事故之间的关系。

事故因果连锁论的主要观点是：事故不是孤立事件，是一系列互为因果的事件相继发生所产生的结果。

事故因果连锁论认为：导致事故包括直接原因、间接原因和基本原因；事故因果连锁过程中包括了社会环境、人的缺陷、人的不安全行为或物的不安全状

态、事故、伤害等因素。海因里希用多米诺骨牌形象地描述了事故因果的连锁关系：在多米诺骨牌序列中，一张骨牌被碰倒就将发生连锁反应，其余骨牌会相继被碰倒；但如果移去一张骨牌，则连锁被破坏，引发事故的连续过程将可以被中止。

事故因果连锁论，在空中交通安全领域内得到普遍认可和广泛应用。海因里希对事故致因问题的研究贡献主要在于：提出人的不安全行为和物的不安全状态是导致事故的直接原因；事故预防工作主要是防止人的不安全行为，消除设备或环境的不安全状态，中断事故连锁的进程而避免事故的发生。他以多米诺骨牌模式，建立了事件链这一重要概念，为研究事故机理提供了颇有价值的思想方法。

然而在安全管理实践中，要界定不安全事件的“直接、间接和基本原因”及其因果连锁过程中的“社会环境、人的不安全行为或物的不安全状态”等因素，并不容易；要中断事故因果连锁过程——即准确地找出应当移去的那张“骨牌”，对安全管理者来说也是极富挑战性的工作。而早期的事故因果连锁论，将大多数事故责任都归因于操作者，这样的观点也缺乏客观性，反映了其安全认识的时代局限性。

（三）事故致因的 Reason 模型

1990年，詹姆斯·里森（James Reason）在前人研究基础上，提出了类似海因里希多米诺骨牌模式的 Reason 模型。与多米诺骨牌模式相比较，它对骨牌及其相互之间的关系描述更加明确，所表达的机制也有一定的区别。

Reason 模型认为，事故通常不是孤立因素所导致的，而是系统一系列缺陷共同作用的结果；系统各层面的缺陷未必导致事故，然而当各层面的缺陷同时出现时，系统必然失去防护而发生事故；事故都源于差错和潜在不安全条件的综合。

随后的20多年，人们对 Reason 模型从不同角度进行了修正，ICAO在2009年提出了事故组织致因论的 Reason 模型^[1]（见图1.3），以期引导人们不局限于通过一些局部措施来减少个别人员的不安全行为，而应当努力从系统角度去减少可能导致事故的条件。

组织致因论的 Reason 模型认为：由于管理决策者的偏见和局限，管理受到资源供给、政治等各种社会因素制约，不当的管理决策并不总能得到及时有效的阻止。因此，即使在运行顺畅的组织中，大多数潜在不安全条件的产生也源于管理决策者本身的局限。而保障安全的防御措施，即系统为控制安全风险所做的资源配置（包括管理决策在内的组织因素），实质上具有两面性。既可以成为破坏系统安全防御的不利条件，也可成为促进系统安全防御的重要有利条件。

该模型尽管从一个新的角度促进了人们对事故因果连锁过程的认识，但在安

全管理实践中，要正确回答涉及安全的“系统各层面的缺陷是什么、如何掌握各层面的缺陷同时出现的情况”等问题，仍具有很高的挑战性。

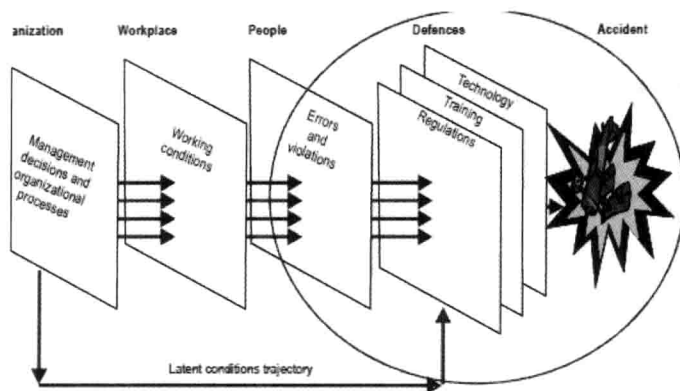


图 1.3 组织致因论的 Reason 模型 (ICAO, 2009)

(四) 事故致因的 SHELL 模型

1972 年，E. 爱德华兹 (E. Edwards) 提出了研究人为因素的四个基本要素，即软件 (S-Software, 如程序、培训等)、硬件 (H-Hardware, 如机械、设备等)、环境 (E-Environment, 人、硬件和软件发挥作用的运行环境) 和人 (L-Liveware, 从业人员)。1975 年，法兰克·霍金斯 (Frank Hawkins) 进一步深入研究了这些要素之间的相互关系并给出具象图，为人为因素的分析研究提供了行之有效的方法。

葛登 (John E. Gordon) 早在 1949 年就提出了“用于事故的流行病学方法”，与分析流行病病因的当事人、环境特征和致病媒介等因素类似，对事故致因分析也应当考虑人、作业环境和引起事故的媒介等因素。SHELL 模型与其分析思维方式颇为相似。

SHELL 模型，在分析系统内不同组分之间的关系上显得比较直观，它强调人以及人和系统其他各部分之间的安全相互作用，并认为：人即使适应了工作环境其表现也有很大差异；人不能像硬件那样标准化，所以人与其他要素的匹配很难做到完全契合；为了充分发挥人的作用，必须掌握和控制处于核心的“人”与其他要素之间（如“L-H”、“L-S”、“L-L”和“L-E”等）的不匹配情况。SHELL 模型的不足在于：强调以人为核心，容易忽视在特定条件下，硬件、软件和环境也可能成为安全焦点，易轻视客观因素的影响力；它局限于横向反映人与其他系统要素之间的关系，不利于安全分析的纵向深化。