

刘汉辉 著

MINYONG HANGKONG ANQUAN ZHIDAO



民用航空安全之道

MINYONG HANGKONG
ANQUAN ZHIDAO

中国民航出版社

民用航空安全之道

刘汉辉 著

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

民用航空安全之道/刘汉辉著. —北京: 中国民航出版社, 2008. 5
ISBN 978-7-80110-845-6

- I. 民…
- II. 刘…
- III. 民用航空 - 航空安全 - 安全管理 - 中国
- IV. F562.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 065853 号

责任编辑: 朱义强

民用航空安全之道

刘汉辉 著

出版	中国民航出版社
地址	北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
排版	中国民航出版社照排室
印刷	北京华正印刷有限公司
发行	中国民航出版社 (010) 64297307、64290477
开本	787 × 1092 1/16
印张	17.25
字数	383 千字
印数	2000 册
版本	2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

书号	ISBN 978-7-80110-845-6
定价	48.00 元

(如有印装错误, 本社负责调换)

前 言

本书从系统观点出发,结合民用航空实际,探讨了生产安全的治本之道。

现代社会已进入知识经济时代,生产系统已经发展成为以人为中心的高度信息化和自动化的社会技术系统。这样的系统结构复杂、变化快速,内在联系多样且紧密,是一个高度统一的有机整体。一方面,现代生产系统能量巨大,一旦发生事故会给社会带来巨大的破坏,安全本来就是人类的基本需求,生产安全问题很自然就成了当今社会关注的焦点;另一方面,现代生产系统的整体性、复杂性和变动性,使得生产安全与组织的其他方面产生了千丝万缕的联系,并且受环境的多重影响。因此,现代的生产安全工作在生产系统中不但具有优先的地位,而且具有高度敏感复杂和动态的性质。传统的孤立安全体系、“符合型”模式、“经验式”和“技术型”管理,已经不能适应现代生产的社会技术系统的要求。

为适应生产力的发展,20世纪末兴起了一场安全思想的大变革,航空业、核工业、大化工等安全关键行业率先提出并开始实践“系统安全”思想。系统安全不再孤立考虑安全工作,而是把安全放在系统的全局考虑,谋求整个系统的优化与和谐发展;不再仅仅着眼于技术方面,而是以人为本,强调人的主导作用;不再要求生产者被动“符合”,而是鼓励他们“主动”负起安全责任,提高“自调控”、“自规范”的能力;不再局限于经验管理,而是倡导利用计算机、网络等先进技术手段实现“数据驱动的管理”。“系统安全”已经成为航空等行业的战略举措,对改善行业的安全起到了明显的积极作用。

本书结合中国民航实际,系统阐述了国际航空界当前“系统安全”思想的内涵及发展趋势,目的是要推动中国民航安全管理的改革,使中国民航的安全工作建立在一个更加科学、坚实的基础之上,以“民航强国”的理念迎接“新一代民航运输系统”的到来。由于生产安全的共通性,也希望本书能对其他行业的生产安全起到促进作用。

全书共分5章,第一章“绪论”,介绍安全思想的发展。第二章“系统与系统科学”,扼要论述了现代系统科学的基本思想。像“系统科学”这样的综合性学科与哲学有密切关联,本书立论基于辩证唯物主义,并且认为以老子的“道”为核心的中国古代自然哲学具有其合理的科学内核。本书曾用作中国民用航空大学研究生教材,第二章意在开拓思路,其内容较深,需要高等数学和动力学基础,实际安全管理者阅读本书时可以跳过。第三章“社会技术系统的系统安全”,全面阐述了系统安全思想的内涵,是本书的主体部分。系统安全是个新事物,有关信息散布在有关航空安全的各类文献中,本书做了系统整理。第四章“系统防错”,首次基于对人的认知机理的认识,全面系统

地给出了防止人为差错的策略。由于人为因素是影响现代生产安全问题的主要因素，而人的影响主要表现在人为差错，所以这一章涉及生产安全的核心问题。关于认知机理，目前学术界还没有统一的看法，本书在近几十年认知科学和神经科学累积的大量事实基础上，提出了自己的系统观点，并用以成功地说明了差错产生的机理，对差错进行了合理分类。由于这种分类明确地基于人的认知过程，因此我们同时也给出了便于把握的预防差错的途径。第五章“系统安全管理技术”，详细说明了作者在1996年提出的“基元事件分析技术”，并基于这一技术进一步建议建立“安全绩效综合测评体系”，以期推进中国民航走向“基于数据”的科学管理。最后用具体例子说明了安全调查技术，提出了整理“开放式”调查资料的“主题频数”技术。

对于本书的出版，中国民航大学校长吴桐水、航空安全科学研究所所长孙瑞山教授给予了大力支持，特别是孙瑞山教授更是提供了许多很具体的帮助。航空安全科学研究所研究员高扬和研究生李环，为本书做了大量文案工作，在此一并感谢。

由于作者水平有限，不当之处在所难免，敬请批评指正。

刘汉辉

2008.3.30

目 录

第一章 绪 论	1
第二章 系统与系统科学	13
第一节 系统及其整体性	13
第二节 现实系统与认知系统	19
第三节 系统的协同性	44
第三章 社会技术系统的系统安全	53
第一节 社会技术系统	54
第二节 安全定义	66
第三节 健康的组织	74
第四节 协同的发展	83
第五节 动态的调控	92
第六节 建设安全文化	103
第七节 系统安全管理	126
第四章 系统防错	141
第一节 神经系统工作机理	142
第二节 差错的产生	159
第三节 差错的组织根源	179
第四节 防错体系	190
第五章 系统安全管理技术	201
第一节 人因可靠性分析和差错管理技术	202
第二节 基元事件分析技术	214
第三节 综合安全绩效测评	242
第四节 问卷调查	250
附录:问卷调查举例	253
参考文献	265

第一章 绪 论

一、人类安全思想的发展

安全是人类永恒的主题。

早在原始狩猎时代，人就对安全有着强烈的企求。但是由于当时生产力低下，人类能控制的能量十分有限，在狂暴的自然力面前除了逃避别无他法，只好把平安的美好期盼寄托于虚幻的神灵。

原始部落都有自己的图腾崇拜。这既是出于对强大自然力的无知和敬畏，也是出于在与野兽搏斗或与敌人战斗时给自己助威壮胆的需要。同时图腾崇拜还包含着人们对生命的热爱，寄托着人们对平安的渴求。

“龙”是华夏民族的图腾。据传，远古时代活动于黄河流域以蛇为图腾的部落逐渐联合了其他部落，而各部落图腾也逐渐融合而形成了现实中并不存在的龙。我国古代传说中，人类的始祖女娲氏、伏羲氏都是巨大的龙蛇；《山海经》记载，共工、轩辕、盘古等或人首蛇身，或人首龙身。时至今日全世界华人都自认为龙的传人，每当谈起龙，华夏儿女就会想起龙腾虎跃的情景，令人热血激荡的民族自豪感就会油然而生。龙有蛇的身、鹿的角、马的头、鸡的爪，神话学家分析说这些特征都寄寓着人们对生命的热爱，对生命循环死而复生的企望。在古人看来，蛇老了，蜕一层皮就年轻了；鹿角每年都萌生鹿茸；鸡爪的鸡距可以看出鸡的老嫩；马的“牙口”说明马的岁数。所以龙在文化系统中是一种生命的符号，象征生命永恒。古人热爱龙、崇敬龙，也就意味着热爱生命，期盼平安。

原始时代，人类在灾祸面前无能为力，只能在精神上乞求神灵赐福保佑平安。概而言之，原始人类在安全上处于“听天由命”的状态。

人类进入农耕社会后，原始的图腾崇拜和巫卜活动逐渐被基督教、伊斯兰教、佛教、道教等现代还流行的宗教所取代。不同宗教崇拜的神圣各不相同，但有一点是共同的，即这些宗教都紧紧抓住了人们渴望安全的心理。所有宗教都宣传神的仁慈，宣扬神能救苦救难、保佑平安，以吸引信徒，同时又都宣扬神的威严，宣扬神能降灾降祸，且无所不察、无所不能，以制约信徒。宗教宣扬灵魂不死，轮回转世，描绘天堂的美好、地狱的苦难。这些都是为了迎合人们内心的愿望，引起人们的共鸣，诱发人们的虔诚信仰。许多人在弥留之际的回光返照中，脑子里还幻想着如教士们在布道时所描绘的那种黄金铺就、遍地鲜花的通往天堂之路。古老的美索不达米亚平原常有洪水泛滥，洪水退后，逃离的人们回来重建家园，再求安居乐业，本是很自然的事情。这件事情在《圣

经》里成了“诺亚方舟”的故事，说因世人行恶，上帝曾降洪水灭之，而诺亚一家行善，神命他制造方舟率全家避难。借方舟在茫茫无际的水上漂浮 350 天后，诺亚放出鸽子，傍晚鸽子嘴里衔一束新拧下的橄榄枝带回了平安的信息，从此诺亚成为人类新的始祖。诺亚的故事符合人们追求平安的心理，深深打动人心，以至于今天人们看到鸽子和橄榄枝还倍感亲切，把它们视为平安与吉祥的象征。到了农耕社会，宗教发展到鼎盛时期，这反映了人类期望与实现能力之间存在巨大差距的无奈现实。人们渴望幸福与平安，但由于生产力低下，人能够控制的能量十分有限，现实中靠自身无法实现自己的愿望，只得到精神世界寻求寄托；加之人类认识的发展水平有限，虽然积累了不少对现实世界的总体观察，但人们不知道现象背后的原因，很容易相信神创、天定等宗教解释，于是人们纷纷皈依宗教。因此农耕社会的人们在安全问题上继续求神保佑，精神上则延续了原始社会的“听天由命”状态。

然而，农耕社会与原始社会相比人类文明前进了一大步。由石器到青铜器，再到铁器，生产力取得了巨大的进步。人类依靠群体的力量能够完成修运河、建长城这样的伟大工程，“大禹治水”讲述了战胜水患的美好故事，都江堰更是留下了变水患为水利的成功范例。现实中人类开始了依靠自己力量保安全的抗争。

认识上，人们已经能够把危害与其发生的环境和条件联系起来，在了解危害发生前提的基础上开始寻求事先回避。汉代古训“家累千金，坐不垂堂”，告诫人们不要在有危险的地方停留，这是长期经验的总结——屋檐下可能有瓦片掉下来砸伤头，或者会有蜈蚣掉到脖子上毒害人。在掌握事件发生条件的基础上，人们还会采取一些防范措施，例如晚上羊跑了，第二天人们会加固羊圈。“坐不垂堂”和“亡羊补牢”这两个短语很好地概括了这一时期现实中人们在安全问题上“被动防范”的基本特征。

进入工业社会，动力机械的应用使得社会生产力产生了质的飞跃。从蒸汽机到内燃机、燃气轮机，再到电机，从火药到 TNT，再到原子弹，人们掌握的能量越来越巨大。随着科学技术的发展，计算机的广泛应用，人类知识成指数增长，人们的能力越来越强。这对安全来说是一把双刃剑，一方面人类依靠自己力量确保安全的能力越来越强；另一方面事故的破坏性往往也越来越大。

自哥白尼推翻地心说以来，宗教神话被一个个揭穿。到工业社会，人们不再把平安的企望寄托于虚幻的神灵，而是随着自然科学的发展，寻找危害发生的内在原因，并采取相应措施，达到预防事故、确保安全的目的。由于早期的技术不够完善，这一时期的安全问题主要受各生产环节装备的可靠性和技术缺陷的制约，因此这一时期的安全研究主要着眼于各行各业的技术问题，分散在各个专业领域。这些研究促成各专业领域安全技术的快速发展。

除了自古就有的天灾人祸，随着工业社会的发展，不断出现了新的生产安全问题。动力机械带来的问题首先是机器伤人，大规模采矿引出了瓦斯爆炸、透水、塌方等伤害矿工的事故和矽肺等职业病，因此最先发展的安全技术围绕的是劳动保护。以保护劳动者为目标的“职业卫生与健康”很快成为工业社会普遍关注的主题。

轮船、火车、汽车、飞机的广泛应用使得交通安全问题迅速成为社会关注的焦点。

交通安全主要考虑乘员的安全。交通运输涉及交通工具和运行线路两个方面,早期的安全技术研究着眼于交通工具的可靠性和线路的安全性。随着社会的进步,一方面交通技术不断改进,装备和线路的安全性不断提高;另一方面社会对交通的需求快速膨胀,要求越来越高,交通工具越来越复杂、快速、大型化,运输线路越来越扩展,网络越来越复杂,交通安全面临的挑战也就越来越严峻。

大化工、核工业等与危险品相关的新兴工业带来了严重的安全问题。印度孟买某化工厂毒气泄漏事故发生若干年后还有数万人要求赔偿。前苏联切尔诺贝利核电站,由于核燃料堆芯烧毁,石墨砌体燃烧,引起化学爆炸,造成大量放射物质外泄,致使 32 名人员死亡,电厂周围 30 公里内 13.5 万人撤离。因此危险品相关工业的安全技术问题得到了社会的特别重视。

此外,建筑工程规模越来越大,建筑物的安全问题越来越受到重视,食品工业带来了食品卫生问题,工业化造成环境污染,环境安全技术随之发展起来。

工业社会的发展过程也是生产相关安全问题越来越突出的过程。由于生产安全等相关问题涉及越来越广泛的公众利益,各工业国纷纷把生产安全管理作为政府的主要职责。政府通过制订各行各业的技术标准,规定最低安全要求,来规范生产行为。技术标准基于深入的理论研究和长期的实践经验,力求依照各行业生产过程的内在规律,来消除和控制装备、设施或产品中的隐患,达到预防不安全事件的目的。由于技术标准基于各自的技术状况和认识水平,不同国家会有不同的技术标准,而且随着技术的进步和认识的提高,技术标准处在不断的更新、完善和改进之中。

直到 20 世纪中叶,人们主要是从技术角度考虑安全问题,安全技术和标准与各行业的生产技术紧密相连。安全知识包含在各专业知识之内,处于一种分散的状态。因此 20 世纪中叶以前工业社会,人类的安全思想可以用“专业防范”来概括。人们不靠求神拜佛,而是借助专业知识,采取主动防范措施,以期达到保安全的目的。

1940 年美国贝尔电话公司实验室正式使用“系统工程”这一概念。系统工程方法很快在许多领域得到推广应用,人们对安全的认识也随之向前迈进了一大步,诞生了“安全系统工程”。

系统工程方法的具体做法是,立足于系统思考,通过建模、优化、评价等步骤,确定系统性能测定准则,找出系统重要特征的数量关系,再调整系统可调部分使性能最优或接近最优,然后再综合评定系统的使用价值。系统工程原本是一门工程学方法论,后来迅速扩展为组织管理技术。广义的系统工程包括对系统的构成要素、组织结构、信息交换和自动控制以及优化管理目标等所采用的各种技术。

系统工程方法很快在安全领域得到应用并形成新的独立学科“安全系统工程”是有其客观基础的。首先是装备、生产系统向复杂化、综合化方向的发展。以航空维修为例,20 世纪 30 年代生产的飞机,机械、电气、电子设备各自独立,机务人员分为机械、仪表电气、无线电等专业,分工非常明确。这种状态很快被打破,如后来的飞机上的液压系统包含了许多电气设备,近代飞机广泛采用数字技术,更包含不少电子器件。遇到液压系统故障,局限在某个专业领域往往就很难分析出故障的原因。这就迫使人们

突破专业壁垒，把眼界扩展到多个专业领域，综合应用各专业的安全知识与技术。事实上，安全技术本来就有共通之处，甚至于有的安全技术在不同的专业有不同的名词和形式，但本质上却是一致的，是一种可以普遍应用的技术。这样各专业安全知识的汇聚与融合，很快累积了通用的安全知识与技术。

再者由于安全的日益重要性，各行业和政府各部门出现了专门从事安全工作的人员。安全管理与监察人员要照顾到生产的方方面面，而现代生产往往采用多种专业技术，因而他们不能局限于某个专业，必须综合地、全局地考虑安全问题。安全工作也不能只考虑某个阶段，以装备为例，设计中很容易解决的问题若被遗留下来，使用中可能要付出昂贵的代价。因此装备安全必须综合考虑开发、设计、制造、使用与维护、修理、延寿等整个生命周期的各个阶段的安全技术问题。概言之，安全工作需要系统思考。专业安全工作人员迫切需要并且在实践中逐渐积累系统观察和处理安全问题的知识与技术。

所以，是社会生产力的发展和科学技术的进步，催生了新兴的学科——安全系统工程。安全系统工程讲述通用的安全技术，它应用系统工程的原则和方法，分析、评价、预测和控制系统中的风险，通过指导设计、调整工艺及设备、协调操作过程、改进管理等，使系统达到最佳安全状态，实现安全生产的目的。安全系统工程的对象是安全系统，即由相互作用和制约，以保证安全为目的的所有要素构成的集合体。构成要素包括人员、设备、材料、环境和管理等。

安全系统工程是一门跨学科的边缘学科，它借助“系统”这一高度概括的概念，把原本分散在各专业内的安全知识汇集起来，并在高层次进行抽象和概括，从而推动了安全理念向前发展。由于其对安全工作的指导意义，安全系统工程得到了迅速的发展和推广应用。

然而，安全系统工程孤立考虑安全系统并局限于技术方面，使得它很快变得不能满足安全工作实践发展的需要。

首先，安全目标不应脱离组织的其他目标。企业必然要追逐利润，谋求发展，企业安全，就能更好地创效益促发展，有效益有发展就会有更大的安全投入。所以，安全、效益、发展协调得好，就能相互促进，对立统一。如果把安全目标孤立起来，安全工作者只考虑安全问题，片面强调安全系统优化，就不可避免地会使安全工作与其他方面的工作产生矛盾，相互掣肘，安全工作也做不好。事实上，人们在实践中考虑安全问题时常常会考虑效益与发展。例如政府在制订安全标准时，就要考虑到标准不能太严，否则会制约发展。显然，作为一个实用的安全理论不能只考虑安全系统。

其次，安全系统工程虽然考虑到人这个因素，考虑到人的操作，但主要从人机工程学的角度讨论人机界面和人的技术动作。实际上人这个因素是非常复杂的，人的安全行为会受到生理、心理、社会、文化等诸多因素的影响。随着社会生产的发展，技术逐步完善，设备的可靠性达到很高的水平。20 世纪 70 年代，事故统计分析表明人为因素取代技术因素上升为事故发生的主要原因。一个安全理论不能全面考虑人为因素这个安全的主要问题显然是不合适的。

再者,安全系统工程的安全系统包含管理,但通常的安全管理指的是安全系统的组织与调控,重点是生产一线的技术管理。安全系统只是组织的一个子系统。组织的总体环境、方针政策、规章制度、组织结构、文化氛围、资源分配等都直接或间接地对安全管理的效果产生影响,因此局限于安全系统考虑安全管理也是不够的。

正是由于安全工作实践发展的需要,20世纪90年代人们的安全思想又发生了一次重大飞跃,产生了“系统安全”的理念。

系统安全是“安全系统工程”的发展,它包含并推广了“安全系统工程”的原则和方法。现代生产组织通常都有多种先进的技术设备,包含各类专业人员,人员之间存在复杂的社会联系,可称之为“社会技术系统”。系统安全从社会技术系统的总体角度讨论安全问题,“一盘棋”考虑安全、效益和发展,从现实基础出发,谋求协同推进,建设更加安全、高效的系统。系统安全把设备和技术作为基本安全要素,但同时全面考虑人为因素和环境,并深入到决策层考虑组织的安全管理。

目前,人们应用“系统安全”这一概念有3个不同层次的理解:

1. 装备层次

用于技术系统建设,例如国家空域内航行系统的建设,一体化规划整个系统内的多种装备,综合考虑安全、效能、成本,统筹安排包括开发、设计、制造、使用、维修以及延寿在内的整个生命周期,美国联邦航空局为此专门编制了《系统安全手册》。这个层次是“安全系统工程”的直接发展,与“安全系统工程”的界线相对模糊,但在许多方面有所提升,不再局限于“安全系统”考虑安全问题,而是综合考虑系统的方方面面,考虑到了系统与环境的相互影响,特别是要求应用新的人为因素理论,充分考虑人与装备、与环境、与其他人的复杂的相互作用。

2. 组织层次

将组织(例如一个航空公司)作为一个统一整体考虑,安全性是组织的基本属性之一,与组织的其他功能与属性紧密联系,动态相关。发生事故的根本原因在于组织存在缺陷,因此安全的治本之道是完善组织。这包括为一线工作人员创造良好的工作环境和条件,提供优质的管理服务和支持,开展高效的培训与教育,实施有效的监督与指导,以及设置多重安全屏障等,还涉及组织的目标、方针、政策,以及组织的文化氛围。系统安全视安全如同组织的健康,“健康的组织”不但高度安全,而且将是高效能和稳健发展的组织。

3. 和谐发展层次

这是系统安全的最高层次,谋求安全目标与组织其他目标的协同统一,在更大范围、更高层次实现系统的综合优化。例如,通过创建先进的文化,强化组织凝聚力,全面调动员工保安全、创效益、谋发展的积极性;通过合理的系统设计,形成系统的良性循环,变废为宝,变害为利。我们的祖先早在秦代建设的都江堰,不但消除了岷江水患,而且得灌溉之利,使成都平原变成了“天府之国”,堪称系统安全的典范。

系统安全站在更高层次观察安全问题,这就有可能进行更深入广泛的抽象与概括,

从而推进人们安全观念的发展。由于其理论的完整性和对安全工作实践的明显指导意义，系统安全概念一提出立即得到业界的广泛认同，并迅速为航空这类安全关键行业所采用，取得了良好效果。系统安全思想完全符合我国协同发展，建设和谐社会的大政方针。因此，系统安全理应成为我国管理安全生产的战略思想。当然，这是一个崭新的领域，目前仍在快速发展中，有许多具体内容还有待进一步开发与研究。

二、航空业安全思想的发展

航空业只有百来年的历史，赶上了工业时代的后期，其安全思想的发展与整个工业社会基本上是同步的。然而，由于空中飞行特有的高风险，航空业从诞生之日起就为安全问题所困扰。航空业一直都对安全问题高度重视，投入了大量人力物力研究安全问题。因此航空业同大化工、核工业等安全关键行业一道，常常走在安全思想和技术发展的前列。在标准化过程中，航空业率先发展了最为完善的规章与标准。也许是由于航空业的大系统特征，系统安全思想也在航空业率先实践。

关于航空业安全思想的发展，国际民航组织理事会主席柯台德博士在 1999 年的一次讲演中作了精辟的总结。他说：“我们航空业考虑安全问题经历了 3 个时期，70 年代以前从技术角度，70 至 90 年代从人的角度，90 年代以后从组织角度。”

从莱特兄弟的飞机 1905 年第一次飞起到 20 世纪 70 年代中期，人们致力于从技术方面改善航空安全。一开始，这是十分自然的，因为早期的航空事故绝大多数都是由于技术原因造成的。早期飞机事故频发，航空被认为是冒险者的事业。这一时期要解决的安全问题主要是 4 个方面的技术问题：机翼产生升力的效能，飞机的稳定性与操纵性，结构强度和动力装置的功率与可靠性。这些都是安全飞起来的基本条件。位流理论的发展，加上美国和前苏联所做的大量风洞实验研究，很快促使人类发展了多个系列的高效能翼型。莱特兄弟的第一架飞机纵向不稳定，所以才飞了几十米就摔了下来。在小扰动理论指导下，人们找到了机翼、尾翼和各个舵面的合理布局，解决了飞机的操稳问题。铝合金和薄壳结构的应用达到了重量轻、强度好的要求。活塞发动机和螺旋桨技术的改进提高了功率，改善了可靠性。到了 20 世纪 30 年代，DC-3 和前苏联立-2 飞机的投入使用标志着安全飞起来的问题基本得到了解决，固定机翼飞机的外形和结构以后再没有大的改变。

当然，人们不会满足于仅仅飞起来。随着飞行活动的扩展，新的安全问题不断产生。首先，作特技这样的激烈机动飞行使得失速螺旋（尾旋）问题突出起来。20 世纪 30 年代初人们还不会改尾旋，一旦意外进入尾旋就会摔飞机。以后通过改进飞机失速特性和飞行技术，找到了改出尾旋的方法，制造了能练习尾旋改出的教练机。然而，失速尾旋这个航空技术难题并没有彻底解决，20 世纪 50 年代高平尾飞机 BAE-111 进入深失速坠毁一度引起航空界震动，20 世纪 70 年代出现的高性能超临界翼型对污染高度敏感，特别是小飞机，轻微的污染就有可能使其失速显著提前，由于这个原因已经导致了多起事故。可见技术改进本身也是旧的问题解决了，新的问题又会产生。

人们还想飞得更快，而活塞式飞机在这个时期遇到了音障问题。20 世纪 40 到 50

年代, 涡轮喷气式发动机取代活塞式发动机, 实现了超音速飞行, 民用运输机也得以普遍在高空、高亚音速运行, 效益大为提高。高空、高速飞行虽然也带来了晴空颠簸、高速抖动、高空倾覆等新的安全问题, 但喷气技术的应用使得发动机的可靠性大为提高, 空中停车率降低。总的说来, 这一时期的技术变革大大提高了航空的安全水平。

为了在复杂气象条件下安全飞行, 20 世纪五六十年代航路设施有了重大改进, 雷达广泛应用, 机场安装了盲降设备, 飞机上也安装了近地警告系统, 这些改进连同喷气发动机的推广应用使得当时的航空事故率大为降低。20 世纪 70 年代发现“低空风切变”是现代喷气飞机的“杀手”, 经航空界协同攻关很快找到了改出办法并开发了风切变警告系统。

随着航空业快速发展, 交通量膨胀, 空中危险接近和跑道侵入成为突出的安全问题, 交通管理技术成为研究的重点, 开发了一系列空域管理、空中交通指挥和流量控制技术。卫星通信导航、全球定位和自相关监视等新航行技术正逐步投入使用。飞机上安装“交通警戒与防撞系统”(TCAS) 成为许多国家的强制要求。

航空业历来重视标准和程序。以美国为例, 最先发展的是军用标准, 主要作为国家采购的依据。民用标准在军用标准的基础上发展起来, 20 世纪 50 年代联邦航空局组建后, 系统地制订了“联邦航空规章”, 其详尽和完善程度堪称典范。其对飞机的适航性管理走在工业产品质量管理的前面, 很早就深入到了开发、设计、生产、使用维护的全过程。由于航空的国际性质, 自 1946 年国际民航组织成立以来一直致力于航行设备和程序的标准化, 并推行“标准陆空通话”以规范通讯语言。

复杂化、大系统化、自动化是现代航空技术发展的总趋势。机电一体化在航空业早就大势所趋。采用电传操纵、一体化电子显示技术的“玻璃驾驶舱”飞机更是高度综合化和自动化。数字系统犹如神经网络, 飞行管理系统(FMS) 就像神经中枢。技术的这种进步总的说来提高了效率, 且弥补了人的能力上的不足, 因而增强了安全性; 但这种各功能系统紧密联系且又具有强大自主能力的机械装置, 对操纵的反应变得复杂, 对操纵偏差变得敏感, 有时甚至会难以预料, 于是又带来了严重的安全问题。

航空技术发展的历程就是一个安全问题不断出现又不断解决的过程, 从技术角度考虑安全问题的努力一直在进行, 也不会停歇。

然而, 这种着眼于技术改善安全的努力在 20 世纪 70 年代遇到了严重挑战。五六十年代航空事故率快速下降后, 到 20 世纪 70 年代趋势变得平起来。尽管技术改进加快进行, 但事故率下降却变得极为缓慢, 20 世纪 70 年代后期以后甚至不下降。与此同时, 事故分析技术有了重大改进, 发展了事件链概念, 不再局限于直接原因。新的事故的统计分析结果使得航空界大为震惊, 80% 以上的航空事故居然不是由于技术原因造成, 而是因为人为因素! 人为因素已经悄悄上升为航空事故发生的主要原因。许多事故看似技术原因, 深入分析发现其根源是人为差错, 或者是因为维修不当, 或者是由于操作失误, 才导致了技术问题的发生。经过几十年的发展, 航空技术的完善性和可靠性已经达到一个很高的水平, 单纯技术原因的事故已经很少发生。于是航空界掀起了重视人为因素的热潮。1976 年国际民航组织的大会决议就明确号召各成员国重视人为因素, 以后

的十年内又多次召开了人为因素国际研讨会。各航空发达国家纷纷组织专人研究人为因素问题，制造厂家和航空公司还专门设置了人为因素专家。航空业进入了从人的角度考虑安全问题的时代。

早期的人为因素研究实际上是已有航空生理学和航空心理学的推广和应用。过去航空界也不是完全没有考虑到人的因素，从一开始就对飞行人员的身体条件和保健提出了严格要求，并且早就知道像急躁、蛮干等心理素质不适于飞行。但航空生理学和航空心理学主要用于飞行人员的选拔和日常保健。到研究人为因素时代，人们综合应用航空生理学、航空心理学、人机工程学的知识，深入研究人的能力极限，疲劳对航空安全的影响与控制，以及如何控制思想压力等问题，并通过培训广泛传播相关知识，希望能够提高航空人员的自我调控能力。

不久，人们逐渐把注意力集中到安全关键问题——人为差错，对差错产生的原因进行了广泛的探究，并集中对“情景意识”进行了深入的研究，也总结出了一些有效的防错策略。但这些研究只深入到认知科学，而神经认知机理目前还是人类正在攻克科学难题，因而进展缓慢。

这一时期的最积极成果当属提出了一种新理论——CRM，开始称“驾驶舱资源管理”，后来改称“机组资源管理”。1979年NASA最早提出CRM概念，1980年泛美航空公司开办CRM培训班。随后CRM培训迅速在全世界推广，很快成为一种航空公司的例行培训。CRM强调发挥团队的整体作用，并通过团队成员之间的交叉把关构成一道坚实的防错屏障。现在CRM已经成为一种行业观念，基于这种观念对飞行员的培训也着眼于培训个人改为重在培训机组。

随着对人为因素研究的深入，人们发现人处在广泛的联系中，受所处环境与条件的多重影响，处境情况复杂多变，孤立、片面、静止地研究人的行为是不现实的。首先人们注意到了文化氛围对人的影响。“安全文化”问题由核工业于20世纪70年代提出，到80年代航空业普遍开始重视安全文化建设。事实上CRM就立足于集体主义的文化观念，没有良好的文化氛围，CRM也就会名存实亡。文化影响问题涉及到民族、行业和组织，因而这是站在更高系统层次观察安全问题。

在人所处系统环境中考虑人的安全行为，包括考虑人、机、环境之间，人与人之间的相互作用；考虑工作条件、任务要求、资源状况、组织管理、规章制度、方针政策、文化氛围等对人的制约和影响；考虑系统缺陷的变化与发展。这实际上是从系统总体出发以系统安全的观点动态地考虑安全问题。也就是说，进入了从“组织角度”考虑安全问题的时代。对于航空业来说，这是20世纪90年代发生的重大变革。

从组织角度看安全问题的一个主要表现是20世纪90年代兴起的综合安全评估。美国首先对进入美国的外国航空公司进行评估。1996年我国开发了“航空公司安全评估系统”，随后又分别开发了机场及空中交通服务的评估系统，使得中国民航形成了一整套评估体系。国际民航组织建立了安全审计制度，一开始安全审计是自愿的，2000年改为强制执行，2005年对审计系统又作了一次彻底修改，由简单审计对几个“国际民航公约附件”的符合性，改为“综合系统方法的安全监督审计”。评估与审计现已成为

航空安全管理的主要手段，其目的是“以评促建”，推进系统安全建设。新的评估与审计系统重在检查组织自主管理安全的能力，而为了规范这种能力建设，21 世纪初国际民航组织又提出了建设“安全管理系统”的要求，并发布了指导性文件，强调保证安全是组织自己的责任。由于航空的国际性，为了加强国家与国家、组织与组织之间的协调，最近航空界又提出了“路线图计划”，谋求改善全球航空系统的协同性，以进一步提高世界航空安全水平。可见航空业当前正通过一个个具体措施积极推进全球航空的系统安全。

航空业安全思想的发展过程是一个安全问题不断出现又不断解决的过程。由于生产技术朝着综合化、复杂化、大系统化方向发展，人们观察安全问题的眼界也不断扩大；由埋头于技术改进到考虑人为因素，再到从组织角度全面考虑设备技术、人、管理和外部环境，系统思考不断深化。这个过程还在继续，也不会停止。

三、中国古代的安全思想

“河图”与“洛书”是《周易》开篇的两张图，上面除了圈、点、线以外，没有任何现代人可以识读的文字说明，图的解释已失传。近年内蒙古有学者经深入研究揭示，原来“河图”是我国远古游牧时代的气象图，标明雨量分布和气候变化；“洛书”是一张用于判断方向的方位图。图上用圆圈表示太阳、干燥，用圆点表示雨水及降雨量。所表示的气候至今仍与我国气候相符。这样的图无疑对于指导安全放牧具有重要意义。

可见早在远古时代，我们的祖先就已经对大自然的规律进行了探索，开始主动地争取自己的生存安全。当然，古人虽然经过观察发现了大自然的一些规律性，但无法解释，这些经验知识因而会带有神秘色彩，这是很自然的事情。

值得注意的是，对一个地区气候变迁规律的掌握必然是对广大空间范围和漫长时间跨度观察结果的归纳和总结。在这里，孤立、片面、静止的方法显然是行不通的，必须从观察资料的总体出发进行系统的思考。这种整体论方法是我们祖先长期经验的总结，对华夏文明产生了深远影响，形成了我们喜欢从整体、全局出发综合思考的特点。例如中华医学就把人体看作一个统一的整体，不主张“头痛医头，脚痛医脚”。大禹治水证明这种全局思考方式的成功，洪水来了，局部堵塞是不行的，必须疏导，使整个流域畅通。都江堰更是系统方法成功应用的典范，基于岷江和成都平原的整体地形，最优布局了鱼嘴、飞沙堰、宝瓶口以及灌溉网络，以最小的投入，获得了最大的效益，变水患为水利，造就了“天府之国”。

中国古代著名的思想家老子把这种方法归纳为“万物并作，吾以观复”，即把所有事物都同时摆出来，观察其循环往复。老子，姓李名耳，春秋时楚国人。所著《道德经》仅五千余字，却包含了自然、政治、经济、军事、道德，甚至美学，对当时人类掌握的知识几乎无所不包。老子当过东周史官，管理王室藏书，有机会接触当时已有的各种文献资料。因此《道德经》继承了我国古代的整体论传统，站在一个很高的角度纵观世间万事万物，包含了极其深邃的思想。

在安全问题上，老子同样是高屋建瓴，论述了万物成败兴衰的总规律：“昔之得一者：天得一以清，地得一以宁，神得一以灵，谷得一以盈，万物得一以生，侯王得一以为贞，其致之。”就是说，只有顺应事物内在的规律性，和谐统一，万物才得以生存，否则就会灭绝。这里老子事实上说明了系统安全的基本思想。

正是由于这种整体思考的传统，我们的祖先很早就全面地看待安全问题。西汉才子司马相如在劝皇帝不要去打猎的上书中就精辟地概括了打猎不安全的原因：外伏危险，人有疏忽。这一说法非常自然，全面看安全问题必然会看到人的重要作用，中国的安全理念中很早就重视人为因素。唐代便留下了这样的诗：“径溪石险人兢慎，终岁不闻倾覆人，却是平流无石处，时时闻说有沉沦。”这首诗特别强调人的能动作用，条件险恶，如果人谨慎小心，则可转危为安；反之，条件再好，如果人麻痹大意，照样会出事。这正是现实经验的精辟总结。

大时间跨度的系统思考必然以发展的观点看问题。古人早就有“蝼蚁之穴，溃堤千里”的警句。系统的小缺陷会发展演变成大灾祸。因此在中国古代的安全思想里早就告诫，保证安全要“察于微萌”。老子说得更清楚：“其安易持；其未兆易谋；其脆易泮，其微易散；为之于未有；治之于未乱。”这些思想都与现代系统安全思想不谋而合。

以发展的观点看问题很自然产生辩证思维。老子提出了祸福相依的思想：“祸兮福之所依，福兮祸之所伏。”告诫人们不要因为平安无事就高枕无忧，很可能隐患正在发展；安全形势不好也不要灰心，有可能否极泰来。这些也都是以系统、发展的观点观察安全问题的必然结论。

可见，系统安全在我国早就是安全思想的主流。西方工业社会经过漫长探索，到20世纪中叶以后终于回到了系统思考安全问题的方向，这是对东方古老安全思想的回归。当然，有强大的现代科学和安全技术作为后盾，今天的系统安全思想上升到了一个新的高度。事物的发展都是螺旋上升的，人类的安全思想也不会例外。

四、安全科学

安全科学是20世纪中叶才发展起来的新兴学科，在我国称为“安全科学与技术”，1993年在国家标准GB/T13745—92（学科分类与代码）中首次被列为一级学科，下设多个二级学科和三级学科。

安全科学是认识和揭示人的身心健康及其财产免受外界不利因素影响，创造和保证其安全条件，研究人所处系统安全状态变化规律的学问。

钱三强指出：“安全科学是交叉科学领域的重要学科。”安全涉及到方方面面，各门工程技术都有自己的安全问题；安全涉及到人，与人的生理、心理、人机界面有关，同时人又是社会动物；安全还涉及到管理，并且安全管理和安全技术都要用到基础自然科学、数学和计算机技术。所以安全科学是高度综合的学科，既包含自然科学，又包含社会科学，几乎横跨所有的学科领域，本身形成了一个庞大的学科体系。现代社会生产向大系统化方向发展，科学向融合方向发展，安全科学的出现是社会生产发展的必然结

果,也是科学融合的一个典型事例。

安全科学技术体系有如下结构层次:

(1) 哲学层次,即安全观。它是安全理论的最高概括,是认识、揭示安全本质的思维方法。系统安全观念就属于这个层次。

(2) 基础科学层次。它研究通用的安全基本理论和方法并揭示安全的基本规律。安全系统工程、人为因素理论属于这个层次。

(3) 技术科学层次。每个工程学分支都有本分支学科的工程技术层次安全理论,如飞行安全理论就是飞行技术学科的安全理论。

(4) 工程技术层次。直接实现和服务于安全的工程技术方法。例如数字飞行数据记录器(DFDR)数据分析方法就是直接服务于航空安全的安全技术。

(3)、(4)两个层次自工业时期开始即随各行业的发展而快速积累知识,但分散在各行业之内,并没有形成独立的安全科学。20世纪50年代之前,虽然通用的安全理论与技术被逐渐归纳和总结出来,然而直到“安全系统工程”面世,安全科学才算真正诞生。此后(1)、(2)两个层次快速发展,20世纪70年代世界上正式出现“安全科学”这个名称,以后每两年召开一次世界安全科学大会(我国称为安全科学与技术国际大会)。20世纪90年代即上升到系统安全层次,安全科学奠定了正确的基本观念,形成了完整的构架。

安全科学的4个层次是相互关联、相互促进的。(3)、(4)专业层次越充实,积累的专业安全知识和技术越丰富,就为(1)、(2)层次的概括和抽象奠定了更加坚实的基础;反过来,(1)、(2)共通层次的发展,又为(3)、(4)层次提供了更好的指导,可促进各专业之间安全技术的交流与融合,引导新的专业安全技术的研究与开发。所以,安全科学虽扎根于各门工程技术,但自身是一个统一的整体。这正是新兴交叉学科的一个基本特征。当前,安全科学还处在快速发展阶段,专业层次尚显庞杂,但随着共通层次的发展和专业技术的融合,这种整体性必将日益加强。

安全科学是一门重要学科,而且随着人类面临越来越严峻的安全挑战,这种重要性正与日俱增。

首先,社会生产规模越来越大,人控制的能量越来越大。个别人的疏漏和失误或者人为破坏可以造成巨大的损失。震惊世界的前苏联切尔诺贝利核电站事故,起于极普通的决策错误——已经发现不正常,却还想运转起来试试,看问题发生在哪里。1977年3月在西班牙的一个度假小岛,机场天气不好,大雾、低云、能见度很低。事情总是阴差阳错。赶上头天欧洲某主要机场收到恐怖威胁,许多飞机都备降在这里。这天一大早大家都急着走,结果一架荷兰飞机和一架泛美的B-747在跑道上相撞,574人遇难。这是迄今为止航空史上最大的事故。事故原因也很简单,由于对英语的不同理解,荷兰飞机的机长误把ATC的放行指令理解为可以立即起飞,而塔台的回答“好……等待起飞,到时我呼叫你”由于频道拥挤,荷兰机长没有听到。于是荷兰飞机加速滑跑与迎面而来刚着陆的泛美飞机相撞。这个事件给航空业带来了巨大的震动,加速了曾经盛极一时称雄世界的泛美航空公司的破产。