民航安全系统工程

MINHANG ANQUAN
XITONG GONGCHENG

杨英宝 等著

中国民航出版社

民航安全系统工程

杨英宝　等著

中国民航出版社

图书在版编目（CIP）数据

民航安全系统工程/杨英宝等著. —北京：中国民航出版社，2013.6
ISBN 978-7-5128-0110-3

Ⅰ.①民… Ⅱ.①杨… Ⅲ.①民航运输-安全系统工程 Ⅳ.①F560.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 046822 号

责任编辑：杜文晔

民航安全系统工程

杨英宝 等著

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	北京华正印刷有限责任公司
发行	中国民航出版社（010）64297307 64290477
开本	787×1092 1/16
印张	24.5
字数	560 千字
版本	2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷
书号	ISBN 978-7-5128-0110-3
定价	60.00 元

（如有印装错误，本社负责调换）

内 容 提 要

本书运用系统工程和安全系统工程的经典理论和创新成果，对民航安全系统工程的一系列重要问题进行了深入阐述。全书分为上下两篇，上篇重点研究民航安全生产系统的功能结构，依次研究了构成民航安全生产系统的各个基本子系统，包括人素系统、设备系统、环境系统、管理系统、信息系统以及应急救援系统。下篇重点研究民航安全生产管理的基本流程，重点探讨了安全系统工程主要理论成果和研究工具在民航安全生产管理中的实际运用，包括安全调查、安全分析、安全风险评估、安全监管审计和安全管理决策。

本书内容全面、论述精到、文字简练，可作为安全生产领域管理人员和研究人员的参考书，也可作为高等学校相关专业研究生和本科生的教科书。

前　言

安全是人类的基本需要。人们的衣食住行样样离不开安全。

系统和工程这一对词汇，以及由二者组成的复合词——系统工程，都是当今时代的高频词。如今，凡有一定规模的事物，不管是自然的、社会的、经济的还是技术的事物，只要形成了人们认识意义上的较大规模和较高复杂程度，引起了人们较高程度的关注，都往往被人们从不同角度描述为系统工程。

安全和系统工程结合在一起，就有了安全系统工程。

民航是当代最先进的交通运输方式，虽然只有百年发展历史，却早已形成世界规模的复杂网络，成为当代全球化人流中最基本的交通运输方式。民航是现代社会中一项特殊的生产活动，民航生产的安全一直是民航发展进程中最受关注的事物。在民航的从业者、管理者、研究者看来，在民航的各种用户看来，民航安全当然是一项系统工程。

民航安全和系统工程结合在一起，就有了民航安全系统工程。

事实上，近二三十年来，世界民航的安全生产管理一直是在作为一项系统工程来开展，并且已经取得了实实在在的成效。作为一个命题，“民航安全是系统工程”在世界民航业是从何时开始的，恐怕已难考证。在我国民航，作者依所见文献判断，明确提出这一命题大致始于20世纪末。在此之后的十多年里，关于民航安全是系统工程的不同形式的表述广泛见于我国民航的各类文献。例如，在近几年中国民用航空局副局长李健为“民航安全系列丛书”题写的序言里就明确指出，增强民航安全保障能力是一项复杂的系统工程，需要我们做大量的工作，它不仅需要基础设施的保障，更需要专业技术人员和安全管理人员素质和技术的支撑，并进一步指出，在这种形势下，加强民航安全基础理论研究工作，对发展民航安全科学尤为重要。

在最近十几年里，我国民航关于安全生产管理问题的研究受到了空前的重视并取得了很大进展，关于民航安全生产管理的著作、译作、论文和研究报告越来越多。在这些文献中，关于民航安全是系统工程的表述占有突出位置。然而，作为一个复合概念，“民航安全系统工程”应具有什么样的内涵和外延，恐怕至今还是一个会引起不少争论的话题。为了提高与读者和学者们的沟通效果，本书对民航安全系统工程的研究从这个看似简单的最基本的问题开始，思考的基本脉络是以对系统工程和安全工程的理解为起

点，经由对安全系统工程、系统安全工程的理解和辨析，指向本书研究的主题——民航安全系统工程。

民航是当代最安全的交通运输方式，这一点已经越来越得到社会公众的认可。民航安全生产水平的不断提高是应用系统工程的一个重要成果。在长期的安全生产和安全管理中，世界民航业已经形成了许多具有鲜明行业特色的理论成果和实践经验。这些成果和经验集中体现为对民航安全系统的理解，体现为民航安全系统功能结构的不断丰富和完善——从最初对设备和技术的集中关注，到后来渐次关心环境对安全的复杂影响，关心人的因素在民航安全生产中的中心地位，关心组织管理对提高民航安全生产水平的综合效能，关心信息对民航安全风险管理的核心作用，关心这些因素或子系统的协同优化。无论从时间跨度上看，还是从研究内容上看，民航业对安全系统的认识过程都和系统工程的发展进程高度相关，十分一致。因此，本书上篇以民航安全生产系统的功能结构为研究主线，在进行简短的总体性铺垫之后，依次研究构成民航安全生产系统的各个基本子系统，包括人素系统、设备系统、环境系统、管理系统、信息系统以及应急救援系统。

在民航安全生产系统不断丰富完善的过程中，安全系统工程作为一门以系统工程理论为研究工具、以安全生产实践为研究内容的独立学科，获得了长足的发展。虽然由于国际上创立这一学科和将这一学科引入我国在时间、背景等方面的差异，目前在我国学术界对这一学科的理解还存在一定分歧，但是大家对这一学科的研究框架和主体内容的基本看法是一致的，都是以企业生命周期或安全生产流程为研究主线，以安全生产管理为总体框架，以事故致因理论、系统危险源识别、系统安全预测、系统安全分析、系统安全和风险评价、系统安全决策、系统可靠性分析、系统安全控制等为基本研究内容。安全系统工程在长期发展中积累的丰富研究成果对提高民航安全水平无疑具有重要的促进作用，但是在迄今为止我国民航开展的安全研究中，对这些具有普遍意义的研究成果还没有给予足够的重视。因此，本书下篇以民航安全生产管理流程为研究主线，在研究重点上更多致力于对安全系统工程理论成果和研究工具的运用，致力于安全系统工程与民航安全生产管理实践的有机结合。

本书撰写工作经过了较长时间的酝酿，从2010年总体策划到2012年完成书稿，前后历时两年有余。现在呈献给读者的这部书稿既是作者团队共同努力的成果，也是朋友们长期支持和帮助的结果。这些朋友有的与作者一道开展过民航安全项目的研究，有的直接参与过本书的策划和审稿，有的为本书的撰写提出过中肯的意见，有的从经济上、管理上、技术上为本书出版提供了帮助。在此，我谨向对本书出版做出过贡献的朋友们表示诚挚的谢意。

本书撰写工作由杨英宝、冯绍红、王华伟、姜雨、宫淑丽等5位同志协力完成。其中，杨英宝负责总体策划和全书定稿，撰写第1章、第2章，冯绍红撰写第3章、第6章、第8章、第11章，王华伟撰写第4章、第10章、第13章，第7.2.3.4小节，参与撰写第1.1节，姜雨撰写第5章、第9章、第12章，第3章附录，第4.1节，宫淑丽撰写第7章、第14章、第15章。马桂勤、薛漾负责全书编排。

本书是运用系统工程和安全系统工程理论研究民航安全问题的一次尝试。限于作者的知识水平和研究经验，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者和专家学者批评指正。

杨英宝

2012 年 12 月

目　录

上　篇

1 绪论 系统工程与民航安全

1.1 系统工程概要

系统工程和系统科学，是20世纪中期以后为适应社会化大生产和科学技术体系等各类复杂系统整体协调的需要而迅速发展起来的新兴学科。系统工程是系统科学或称系统理论在工程技术层次的应用。20世纪世界科学技术和经济社会发展的巨大成就证明，这个世纪是系统科学与系统工程大放异彩的世纪。

系统工程的基本特点是把研究对象作为整体看待，它认为构成系统的基本要素是人、财、物、目标、机器设备和信息等6大因素，这些要素互相联系、互相制约，共同实现系统的功能；它要求任何研究都必须从研究对象的组成、结构、功能、相互联系方式、历史发展和外部环境等方面进行综合的考察，做到分析与综合的统一；它用定量和定性相结合的系统思想和系统方法处理复杂系统问题，把系统设计、运行和管理看成是统一的工程实践，统称为系统工程[1]。

系统工程的基本方法是系统分析、系统设计和系统综合评价，它用数学模型和逻辑模型来描述系统，通过模拟来反映系统的运行，求得系统的最优组合方案和最优运行方案；它应用现代数学和电子计算机等工具解决复杂系统的组织、管理和控制问题，以实现系统最优设计、最优控制和最优管理目标。传统上系统工程最常用的方法是由系统工程创始人之一美国的霍尔（A. D. Hall）创立的三维结构图，它把对工程项目的研究分为3个维度：时间维，包括规划、拟订方案、研制、生产、安装、运转和更新等7个程序阶段；逻辑维，包括明确目的、指标设计、系统方案组合、系统分析、最优化、做出决定和制订方案等7个步骤；知识维，包括工程项目需要使用的各种专业知识[2]。

系统工程是一种高度综合性的工程技术，涉及自然科学、社会科学和思维科学的多门学科，由这些学科构成的系统科学体系是一个庞大的学科群。系统工程和系统科学跨越人类知识体系的领域划分，将这些知识领域中关于系统结构和功能的思想、理论、方法有机地整合起来，形成了一门崭新的交叉学科。在这个以系统思想为中心的新型学科群里，包括系统论、信息论、控制论、耗散结构论、协同论及运筹学、系统工程、信息传播技术、控制管理技术等等许多学科在内，是20世纪中叶以来发展最快的一大类综合性科学。这些学科分别诞生和发展于不同领域，都具有深厚的产业和科学技术背景。例如，系统论在20世纪30年代由奥地利裔生物学家贝塔朗菲（V. Bertalanffy）在理论

生物学研究中提出，信息论由美国数学家申农（C. E. Shannon，1949）等人为解决现代通信问题而创立，控制论由美国人维纳（N. Wiener，1948）在研究自动控制技术问题中建立，运筹学由一些科学家应用数学和自然科学方法在参与第二次世界大战军事问题的决策中形成，系统工程为解决现代化大科学工程项目的组织管理问题而诞生，耗散结构论、协同论等则是理论物理学家为解决自然系统有序发展的控制问题而创立。这些学科起初都是独立形成的科学理论，由于它们相互间紧密联系、互相渗透，在发展中趋向综合和统一，有形成统一学科的趋势，因此国内外许多学者认为把以系统为中心的这一大类新兴科学联系起来可以形成一门有严密理论体系的系统科学。美国一些学者较早看到了系统工程的发展与有关的基础理论紧密相关，系统工程与控制论的大系统理论互相渗透等情况，早在20世纪60年代就将系统工程称为系统科学。

20世纪30年代到50年代的30年是系统工程理论逐步形成的时期，其间最有代表性的三大经典理论成果是由贝塔朗菲提出的生命有机体理论（1928）和一般系统论（1945—1956），维纳创立的控制论，以及维纳与申农等人创立的信息论，系统工程学界一般把这三大经典理论称为“老三论”。工业工程、运筹学和投入产出分析等应用成果的出现标志着系统工程理论在这一时期已得到初步实践。

在系统工程三大经典理论中，一般系统论产生于实验科学中的还原论与整体论特别是生物学中的机械论与活力论之争。贝塔朗菲提出的一般系统论基本观点包括：系统整体性是系统最本质的属性，它源于系统的有机性和组合效应，在系统论中1加1不等于2，这就是著名的“非加和定律”；生物系统在本质上是开放系统而不是封闭系统，有机体系统的开放性使之与环境不断进行物质、能量和信息的交换，实现系统的有序性、目的性和结构稳定性；系统相关性决定系统具有动态性，相关性是指系统的要素之间、要素与系统整体之间、系统与环境之间的有机关联性，由这种关联性决定，任何系统都处在不断的发展变化过程中；系统具有层次性，低一级层次是高一级层次的基础，系统本身是高一层次系统的子系统；层次性效果决定系统的有序性，包括系统结构的有序性即空间有序性，系统发展的有序性即时间有序性，以及二者有机结合的时空有序性。从这些观点出发的系统方法遵循整体性、历时性或动态性以及最优化三大原则[3]。

控制论是被钱学森誉为20世纪上半叶与相对论、量子论齐名的三大重要理论之一。它研究存在于各种系统的共同的控制规律，研究的重点是信息和控制反馈，它既突破了动物和机器的界限，也突破了控制工程与通信工程的界限，认为一切系统，无论是有生命系统还是无生命系统，都是信息系统和控制系统。控制论认为输出功能是系统的基本属性，而输出功能的实现离不开控制机制；控制通过一系列有目标的行为和反馈实现，没有目标就没有控制。凭借其对系统结构特点、系统控制原理和系统研究方法的深刻揭示，控制论已成为构建系统工程大厦最重要的理论基石之一。控制论的发展经历了3个阶段。在20世纪40—50年代的经典控制理论阶段，主要研究对象是单因素控制系统，重点研究系统的反馈控制。在60年代的现代控制理论阶段，主要研究对象是多因素控制系统，重点研究系统的最优控制。在70年代以后的大系统控制理论阶段，主要研究对象是社会系统、经济系统、生态环境系统、管理系统等因素众多的大系统，重点研究

大系统的多级递阶控制，关注焦点是大系统结构方案、稳定性、最优化、建立模型和模型简化等问题[4]。

信息论的实践基础是系统的不确定性。信息论认为，信息是系统两次度量之间不确定性的差，是系统不确定性减少的量，是系统在运动中由数据、信号等构成的消息所承载和传递的有效内容。系统的信息量反映系统的有序性，系统的信息量越大或系统的熵越小，系统越有序、越稳定，反之系统的信息量越小或系统的熵越大，系统越无序、越不确定。信息论以研究内容的广狭分为3种类型：狭义信息论仅局限于通信领域，以概率论和数理统计方法研究信息的传递和处理，包括信源、信宿、信道和编码等基本问题；一般信息论仍以研究通信问题为主，但包括了噪声理论、信号滤波及预测、调制和信息处理等问题；广义信息论把上述研究内容推广到与信息有关的所有领域。信息论抽象掉系统运动的物质性和能量性，把一切系统的有目的运动抽象为信息变换过程，用联系和转化的观点综合研究系统运动的信息过程，揭示了不同系统之间共同的信息联系机制，因而对系统研究方法具有革命性的意义[5]。

系统工程作为一门独立学科，确立于20世纪50年代。从50年代到70年代，系统工程得到了广泛应用。PERT和系统动力学等系统工程方法提出，系统工程的传统方法论霍尔三维结构提出，出现了管理科学、经济控制论、组织理论及组织行为学等一批运用系统工程的理论和实践成果。

此后20年，系统工程从理论到实践得到全面繁荣，自组织理论是这一时期系统工程理论发展的主要成果。比利时理论物理学家普利高津（I. Prigogin，1969）创立的耗散结构理论，德国物理学家哈肯（H. Haken，1969）创立的协同学，法国数学家雷内·托姆（Rene Thom，1972）创立的突变论，德国科学家艾肯（M. Eigen，1979）等人创立的超循环理论等成果标志着自组织理论体系的建立[6]。自组织理论的研究对象主要是复杂系统的形成和发展机制问题，即在一定条件下，系统是如何自动地由无序走向有序，由低级有序走向高级有序的。在复杂系统理论中，所谓组织是指系统内的有序结构和这种有序结构的形成过程。哈肯认为，从系统的进化形式来看，可以把系统分为他组织系统和自组织系统两类。他组织系统指靠外部指令而形成组织的系统，自组织系统通过系统内部各子系统之间的非线性相互作用，在一定条件下能自发产生在时间、空间和功能上稳定的有序结构。自组织过程包含3类演化过程：由非组织到组织的演化，由低层次组织到高层次组织的演化，以及在相同组织层次上由简单到复杂的演化。自组织现象在自然界和人类社会中普遍存在，一个系统自组织功能越强，其保持和产生新功能的能力也就越强。

普利高津创立的耗散结构论（Dissipative Structure）和他在此基础上的研究成果使他获得了1977年诺贝尔化学奖[7]。按照耗散结构论的观点，当外界条件变化达到某一特定的阈值时，一个远离平衡态的开放系统中的量变可能引起质变，使系统从原来的无序状态转变为一种时间、空间或功能的有序状态。这种非平衡态下的有序结构就是耗散结构。形成耗散结构需要具备4个条件。一是系统必须是开放的，系统与外界交换物质或能量而引起熵变；二是系统远离平衡状态，旧态失去稳定性是出现新态的必要条件；

三是非线性因素起支配作用，系统本身既要有均匀定态失稳机制，又能保证系统趋于新的稳态；四是涨落导致有序，决定涨落能否放大的因素，是系统中存在适当的非线性作用机制。只有在远离平衡的条件下，非线性机制才能被充分解放出来，产生巨大涨落，通过涨落形成新的有序。

协同学（Synergertios）不仅研究系统从无序到有序的演化规律，而且研究系统从有序到混乱的演化规律，首次真正地把有序与无序统一起来[8]。协同学理论强调协同效应，协同效应是指在复杂大系统内，各子系统的协同行为产生出的超越各要素自身的单独作用，从而形成整个系统的统一作用和联合作用。“协同导致有序”，是这一理论的高度概括。协同学理论主要研究系统内部各要素之间的协同机制，认为系统各要素之间的协同是自组织过程的基础，系统内各序参量之间的竞争和协同作用是系统产生新结构的直接根源。由于系统要素的独立运动或在局部产生的各种协同运动以及环境因素的随机干扰，系统的实际状态值总会偏离平均值，这种偏离波动的幅度叫涨落。当系统处在由一种稳态向另一种稳态跃迁的过程中，系统要素间的独立运动和协同运动进入均势阶段时，微小的涨落会被迅速放大为波及整个系统的巨涨落，推动系统进入有序状态。

突变论（Catastrophe Theory）主要研究客观世界非连续性突然变化现象，研究从一种稳定组态跃迁到另一种稳定组态的现象和规律。很长时间以来，关于质变是通过突变即飞跃还是通过渐变，在哲学上引起过多次重大争论。突变论认为在严格控制条件的情况下，如果质变中经历的中间过渡态是稳定的，那么它就是一个渐变过程。质态的转化既可通过渐变来实现，也可通过突变即飞跃来实现，关键在于控制条件。突变论认为系统所处的状态可用一组参数描述。当系统处于稳定态时，标志该系统状态的某个函数取唯一的极值；当参数在某个范围内变化，该函数值有不止一个极值时，系统处于不稳定状态。系统从一种稳定状态进入不稳定状态，随着参数的变化，又使不稳定状态进入另一种稳定状态，系统状态会在这一刹那间发生突变[9]。突变论是对哲学上量变和质变规律的深化，具有重要意义。

自组织理论是系统科学的重要思想，其基本原理既适用于自然系统，也适用于社会系统，它沟通了自然科学和社会科学之间的联系，能够在相当程度上说明自然界和社会领域的有序现象。自组织理论中的耗散结构论对于理解系统演化的前提条件十分重要，主要视野是系统与外部环境之间的边际效应，给人们的启示是不能孤立地研究某个系统本身，而且要注意研究系统与外部环境的相互关系。协同学理论阐述了子系统之间的竞争和协同作用推动着系统从无序向有序的演化，着重研究系统内部子系统之间的关系，研究它们的相互作用方式、机制和整体效应，提升了人们对于系统自组织演化内部机制和动力的认识。突变理论与系统自组织演化的相变理论密切联系在一起，揭示了原因的连续作用可能导致结果的突然变化，揭示出相变的方式和途径、相变的多样性，解释了在自然界和人类社会活动中大量的突然变化和跃迁现象，更好地理解了从一种稳定状态进入另一种稳定状态时系统状态参数的变化。自组织理论的一些较新的成果，例如超循环理论、混沌理论和分形理论对混沌和分形的研究使人们对于系统自组织的复杂性、系统自组织的发展的整个过程有了更深刻的理解。总之，自组织理论使人们认识到，充分