

学科门类：管理学  
中图分类号：F713·V355

单位代码：10287  
密 级：公 开

硕 士 学 位 论 文

# 空中交通安全管理的研究

硕士生姓名 任 波

一级学科 管理科学与工程

学科、专业 管理科学与工程

研究方向 系统工程与计算机辅助管理

指导教师 宁 宣 熙 教授

南京航空航天大学

二〇〇二年三月

## 摘 要

本文首先介绍了空中交通服务与航空安全的发展及现状,指明了空中交通服务与航空安全与航空发展不匹配所潜在的对国际民生的巨大隐患,并对发生的事故征候和事故进行了初步的原因分析;其次介绍了安全和安全系统工程的有关原理和事故分析的方法;第四章则在此基础上对影响空中交通安全管理的因素进行了详细的分析,特别是人为因素的分析;最后,引入了 MORT 方法以提高空中交通安全管理的安全性。

本文建立了空中交通安全管理的 MORT 图及用户手册。

应用此 MORT 分析模型,不但能够发现系统缺陷和疏忽,为事故和事故征候的处理提供有力的证据和决策支持,而且能够提高空中交通的安全管理水平。

关键词:空中交通安全管理    安全原理    安全系统工程    MORT

## Abstract

The article can be divided into following parts:

First, introducing the development and existing situation of air-traffic service and aeronautics safety, directing the potential and great insidious danger caused by disco-ordination between air-traffic service and aeronautics safety and aeronautics development, analyzing the causes of accident.

Second, introducing the related theory of safety and safety systematic engineering and methods of analyzing accident.

Third, based on the above content, analyzing the factors that affect the safety of air-traffic safety management, especially the human factor.

Finally, using MORT to improve the air-traffic management safety.

The analytical model of the MORT and user's manual have been compiled.

The using of the analytical model of the MORT and user's manual can not only find out the defects and omissions in the existing safety management system, but also improve the safety situations, so that the safety management for the air-traffic can be raised to the modern level.

Key words: Air-traffic safety management, safety theory,  
safety systematic engineering, MORT

目 录

绪论 ..... 1

第一章 空中交通服务 ..... 2

1. 1 空中交通服务的发展与航空安全 ..... 2

1. 2 空中交通服务相关的事故与事故分析 ..... 3

1. 2. 1 世界范围内的飞行事故统计 ..... 3

1. 2. 2 中国空管相关的事故统计 ..... 5

1. 2. 3 空管相关事故和事件事例 ..... 5

1. 2. 4 错误和失误 ..... 6

1. 2. 5 技术性因素 ..... 7

1. 2. 6 非技术性因素 ..... 7

第二章 安全原理 ..... 9

2. 1 事故预防 ..... 9

2. 1. 1 事故的定义 ..... 9

2. 1. 2 事故的特征 ..... 9

2. 1. 3 基元事件分析 ..... 10

2. 1. 4 事故分析 ..... 11

第三章 安全系统工程 ..... 13

3. 1 系统论 ..... 13

3. 1. 1 系统 ..... 13

3. 1. 2 系统分析 ..... 14

3. 1. 3 系统工程 ..... 15

3. 1. 4 系统安全理论 ..... 16

3. 1. 5 系统模型化和最优化 ..... 16

3. 2 安全、安全评估 ..... 16

3. 2. 1 安全和安全评估的定义 ..... 16

3. 2. 2 安全评估的目的 ..... 17

3. 2. 3 安全评价的原则 ..... 18

3. 2. 4 评价程序 ..... 19

3. 3 安全控制 ..... 19

|         |                       |    |
|---------|-----------------------|----|
| 3. 3. 1 | 安全意识 .....            | 19 |
| 3. 3. 2 | 控制论 .....             | 20 |
| 3. 4    | 安全评估的基本原理 .....       | 21 |
| 第四章     | 安全因素分析 .....          | 22 |
| 4. 1    | 安全因素分析 .....          | 22 |
| 4. 2    | 人的因素的分析 .....         | 25 |
| 第五章     | 管理疏忽与危险树 (MORT) ..... | 27 |
| 5. 1    | MORT 的发展过程 .....      | 27 |
| 5. 2    | MORT .....            | 27 |
| 5. 3    | MORT 研究的理论基础 .....    | 31 |
| 第六章     | 空中交通服务安全评估系统 .....    | 37 |
| 6. 1    | 评估系统结构和评估模式 .....     | 37 |
| 6. 2    | 评估模块 .....            | 38 |
| 6. 3    | 空管 MORT 模型的建立 .....   | 39 |
| 6. 4    | 空管 MORT 用户手册 .....    | 47 |
| 6. 5    | 权重及其计算 .....          | 63 |
| 第七章     | 案例分析 .....            | 65 |
| 致谢      | .....                 | 67 |
| 学术成就    | .....                 | 68 |
| 参考文献    | .....                 | 69 |

## 绪论

安全,是人类赖以生存发展和进步的前提,是人类永恒的主题。民用航空是一个高风险的行业,飞行安全关系到旅客的生命和财产的安危,更是人们经常议论的话题,新中国民航 50 多年来,始终把保证飞行安全放在首位,并取得了较好的成绩,飞行事故万时率持续下降,50 年代飞行事故万时率平均为 0.4,到了 90 年代飞行事故万时率已经下降到平均 0.06。但是,也还有不如人意的地方,飞行事故万时率下降了,而飞行事故次数却呈上升趋势,50 年代平均为 1.9 次,到了 90 年代,平均为 3.6 次。飞行事故次数上升带来死亡人数增加,总是会使民航从业人员和社会公众感到忧虑和不安。

现代民航是一个复杂的开放巨系统,系统是由若干子系统构成,其中航空公司,空中交通服务和航空港地面服务是 3 个主要的子系统。各子系统又可以由若干子系统构成。现代航空的系统特征,使得每个要素和子系统对系统的运行都起着至关重要的作用。作为航空系统的子系统-----空中交通服务的发展滞后、失误和运行紊乱都将影响航空活动的正常进行,甚至引发灾难性的后果。因此,在事故发生前,从管理系统方面评价空中交通安全管理作业的安全性具有非常重要的意义。目前,对空中交通安全管理作业的安全性评价已经受到了高度重视,中国民航总局已将其列为重要的课题。

长期以来,人们对空中交通安全管理的研究还不够深入,还没有一个综合的模式评价空中交通安全管理作业的安全性;国外有关空中交通安全管理的安全性评价方面的资料也很欠缺。因此,如何确立有效的评价模式,在国外也是研究和探讨的课题。鉴于上述情况,本工作主要是在详尽分析影响空中交通安全管理系统安全性的各种因素的基础上,结合系统工程和安全原理的指导思想,采用 MORT 方法建立适合我国国情的空中交通安全管理的 MORT,即从管理系统因素出发研究空中交通管理的安全性,全面评价系统的安全管理水平。应用 MORT 方法可以使事故降低一个数量级,对于事故率已经较低,但一旦发生事故就会造成极其严重的社会影响和巨大的生命财产损失的系统,MORT 更具有非常重要的意义。针对空中交通安全管理此类管理层次很高的管理系统,采用 MORT 方法,可以对管理上的疏忽、失误,特别是整个管理系统本身的缺陷进行全面的分析和评价,克服了其他系统安全分析方法的局限性(即只适用于某一具体的危险或某一具体的设备及操作过程);对于空中交通安全管理此类管理层次很高的管理系统,只有采用 MORT 方法,才能抓住管理不佳这一薄弱环节和关键环节,收到事半功倍的效果。显然,该工作对提高我国民航安全管理水平,促进飞行安全,加强国民经济和国防建设具有理论和实际的意义。

## 第一章空中交通服务

### 1.1 空中交通服务的发展与航空安全

现代民航是一个复杂的开放巨系统,系统是由若干子系统构成,其中航空公司,空中交通服务和航空港地面服务是3个主要的子系统。各子系统又可以由若干子系统构成。例如,空中交通服务系统由空中交通管制、航空气象、雷达导航、航行情报和航空电信构成,各子系统由若干因素构成。

空中交通服务是伴随着航空运输的发展而发展起来的。现代航空最大的进步之一就是建立起来了较完善的空中交通管制服务体系和各种导航和监视系统,从而使民用航空活动规范、有序、安全地进行。

现代航空的系统特征,使得每个要素和子系统对系统的运行都起着至关重要的作用。作为航空系统的子系统-----空中交通服务的发展滞后、失误和运行紊乱都将影响航空活动的正常进行,甚至引发灾难性的后果。

民用航空的初期由于飞行量较小不需要完善严格的空中交通管制,政府和航空公司对空中交通管制并没有给予足够的重视,也没有像今天空中交通服务的概念。随着飞机性能的不断完善,民航运输量的不断增加,航线和飞机密度的增加,使得当时的空中交通管制系统不能适应民航的发展,导致航班延误和飞行事故,阻碍了民用航空的发展。以20世纪50年代的美国民航为例,由于空管系统的发展滞后,1954年9月著名的“黑色星期三”使4万5千名旅客因航班延误被滞留在纽约地区达数小时;1956年6月环球航空公司的一架“超级星座”飞机与联合航空公司的DC-10在大峡谷上空相撞;两年后在拉斯维加斯附近又发生一起军用喷气飞机与商用DC-7型飞机相撞的事故,随后不足1个月F33飞机与美国首都航空公司的“子爵”飞机在马里兰州的布鲁斯威相撞。这些事故暴露了当时美国空中交通管制系统的缺陷,促进美国制定更加严密的航空法规,投入大量财力和物力建立更加精密可靠的雷达监控系统、导航系统和通信系统,极大地提高了空中交通服务的能力和质量,为航空活动的安全、高效进行提供了保证。目前在世界范围已经建立比较完善的空中交通管制系统,与由现代高可靠性喷气机装备起来的航空公司和现代化的航空港,共同承担着民航的民航运输任务,民航运输飞行已经成为最安全的运输方式之一。现在,高新技术不断地应用于民航领域。随着基于卫星技术和全球定位系统(GPS)的CNS/ATM新航行系统的开发和应用,为民航运输高效率、安全、快捷的进行提供了更加可靠的硬件保证,民航安全必将上一个新的台阶。



但是，我们必须看到这样的事实，民航事故仍时有发生，与空中交通服务相关的事故仍时有发生。与空中交通服务相关的事故中几乎没有因设备失效导致的飞行事故，其中绝大部分是人为因素造成的。人为因素已经成为民航事故的主要原因。在民航安全的系统中人是最活跃的因素，又是最难把握的因素，人为因素已经成为制约民航安全水平提高的瓶颈。

与航空安全关系最为密切的航空人员，除了飞行员外，就是提供空中交通管制服务的空中交通管制员，他们包括工作在下列岗位的管制员：机场飞行报告室、管制塔台、进近管制室、终端管制室、区域管制室及有中国特色的地区管理局管制室和总局的总调度室。

空中交通管制员的职责，在国外是在管制空域内，在我国是全部空域内特别是当航空器按照仪表飞行规则运行时，空中交通管制员对维护各类航域内的空中交通秩序、保证航空器之间具有符合规定的间隔（纵向、水平横向和垂直三个方位）、在机场机动区内防止航空器与航空器、航空器与障碍物相碰负有直接责任。

围绕空中交通管制服务开展工作的航空气象、航空通信、导航、航行情报等专业人员也与航空安全有直接的关系，他们的不安全行为均可直接导致发生航空器事故。

## 1. 2 空中交通服务相关的事故与事故分析

### 1. 2. 1 世界范围内的飞行事故统计

#### 1、1999 年世界航空安全形势回顾

1999 年世界航空安全形势仍不令人满意。虽然飞行事故造成的死亡人数，由 1998 年的 1244 下降到 730 人，但是发生死亡事故 48 起与 1998 年相同。特别是台湾中华航空公司和大韩航空公司发生的死亡事故，严重妨碍了航空安全水平的提高，造成了不良影响。总的来说，世界航空安全形势正在好转，在航空运输量不断增长的近 10 年中，重大死亡事故发生的起数已由最高年份的 57 起下降到 48 起。

#### 2、飞行事故原因以及预防措施统计

通过考察预防事故的途径，而不是简单得事故原因可以得到各种因素可能预防事故的百分比，这个方法称为事故预防策略。商用喷气飞机事故原因通常分为 5 种：飞机设计、维护、气象、机场/ATC 和飞行运行（与飞行技术相关的因素）。如图 1.1 给出了商用喷气飞机事故的事故原因和事故预防策略的比较。



喷气飞机事故原因与事故预防策略

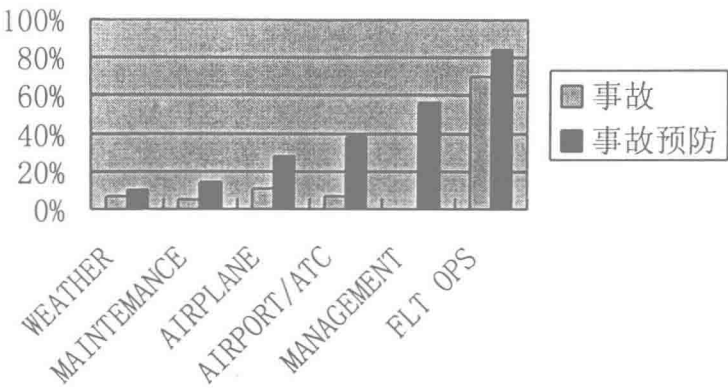


图 1.1

其中进近着陆（8 分钟）和起飞阶段（3 分钟）是航空飞行器最容易发生重大事故阶段，民航人将其视为“危险的 11 分钟”。据统计，从 1980 年到 1996 年，全世界运输机共发生重大飞行事故 621 起，其中，被航空运输界称为“航空杀手”的重大进近着陆事故为 287 起，占 46%。287 起重大进近着陆事故共造成 7185 人死亡。其中，进近阶段占 108 起，第五边进近阶段占 82 起，着陆阶段占 97 起。

3、1980 年-1996 年世界重大进近着陆事故分析

一架飞机在进近着陆阶段发生重大死亡事故可能是多种因素造成的，但其中一种被定为主要因素。在世界发生的 287 起重大进近着陆事故中，有 8 起事故原故不明。发生在进近着陆阶段的其他 279 起重大事故，最常见的主要因素有 5 种。疏忽/措施不当造成 69 起重大事故，占 24.7%；不清楚飞机在空中的位置造成重大事故 52 起，占 18.6%；飞行操纵问题造成重大事故 34 起，占 12.2%；“蛮干”造成重大事故 31 起，占 11.1%判断力/飞行技术差造成重大事故 12 起，占 4.3%。如图 1.2：

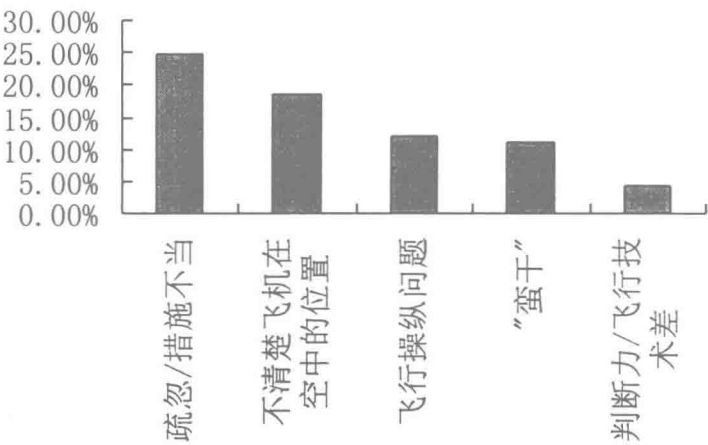


图 1.2

1. 2. 2 中国空管相关的事故统计

事故统计：

新中国民航自建立到今天共发生特别重大和重大（1 等和 2 等）运输飞行事故 38 起，其中空管原因 5 起，占 13.2%，天气原因 1 起占 2.6%。按照事故链的思想，采用基元事件分析方法进行分析显示在航班事故中有 16 个基元事件属于管制，从事故预防的角度，消除一个事件可以预防一个事故的推论，空中交通管制可以预防的事故大约占事故的 42%。

下图 1.3 给出了 1991-1997 年的事故征候原因，1993-1997 年事故征候管制原因占 6.49%。

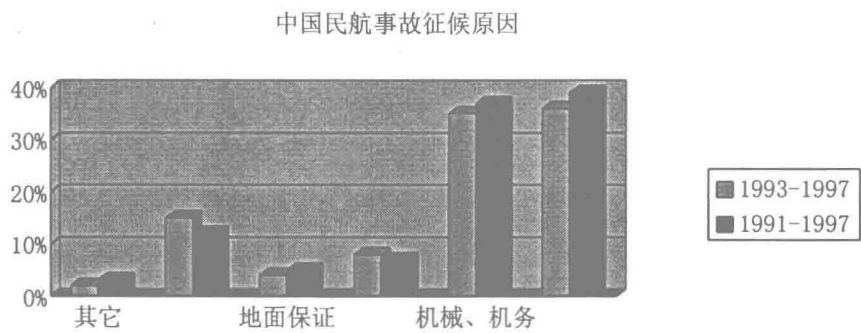


图 1.3

1. 2. 3 空管相关事故和事件事例

1、1998 年 7 月，武汉航空公司两架 B737 由武汉天河机场回基地-----王家墩空军机场。由于本场军机飞行而由军方起飞线担任正指挥员，武航派出一名管制员协助指挥任副指挥员。第一架进场飞机自选向 22 号跑道做修正角穿云进近（因指挥员未给出明确飞行程序，当机长提出收到北台，向 22 号着陆请求时，指挥员同意）仅相隔 2 分钟进场的第二架 B737，在未得到进近程序允许的情况下，收到南台时，自行选择向 04 号跑道着陆的修正角穿云，但未向指挥员报告自己的选择。指挥员在未弄清两架飞机对头着陆的情况下，分别允许两架实施穿云下降，结果当第一架飞机未着陆而是保持 700 米通过本场向南远台飞去时，与正在由 900 米向 300 米下降的第二架飞机在南远台上空对头相遇，幸有一定能见距离，两机搞清是对头飞行时采取了各向右转的避让措施，经雷达信息证实，两机相遇时，高度差 100 米，横向距离仅 700 米。未发生两机相撞实属侥幸。管制服务质量低劣是一个非常重要的原因。

2、1997 年 9 月 26 日，印度尼西亚鹰航空公司一架空客 A300B4 飞机执行雅加达飞往棉兰航班任务，飞机在能见度只有 500 米的情况下向棉兰机场进近时，撞山坠

毁。机上 222 名旅客和 12 名机组人员全部遇难。事故原因：印尼森林打火造成烟雾布满天空，8500 英尺以下的能见度很低，地面能见度只有 200-300 米。这架飞机在飞往棉兰机场时，因空中交通管制员批准的下降高度过低造成飞机进近时撞山坠毁。

3、1991 年 2 月 1 日，美国合众国航空公司一架波音 737-300 飞机在洛杉矶机场着陆时，与一架已被批准起飞的梅特罗 III 飞机相撞，造成 34 人死亡。空中交通管制指挥失误造成了两架飞机相撞。

4、1998 年 7 月 18 日，俄罗斯航空公司货包机经北京进近区飞石家庄机场，因航路雷雨绕飞后航向直指北京市禁区，管制员多次提醒前方有禁区并试图给出航向避开禁区，但机组称因雷雨无法飞指定航向，此时管制员没有更确切或灵活方案，结果导致飞机飞入北京市禁区。造成此次事件的原因之一是管制员不了解航路雷雨范围、强度，没有预先紧急处置方案。

5、飞机晚点了 1 个半小时在某空域飞行。飞机的航班是 522 航班，但是，由于是晚点，与公司的正点 552 航班在同一时间、同一空域飞行。管制员指示 522 航班向 4000 英尺下降，522 航班回答后按指示执行。对这一管制指示，552 航班也作了相同的应答，但是，由于通信障碍，522 航班没有注意到 552 航班的通信。突然，管制员质问：“552 航班，向何处飞？”552 航班回答：“接到了向 4000 英尺下降的许可。”大约过了 10 秒，在 522 航班 TCAS（防撞系统）的屏幕上显示出了在 12 时、2000 英尺有一目标。如果 522 航班继续下降，势形成危险接近。此后，管制员继续发出不可理解的雷达引导，当询问管制员时，管制员回答：“你们混淆了呼号。”我想：可能是管制员对 522 航班发出了指示，但哪个指示应当是给 552 航班的，管制员也混淆了呼号。

从上述所举事例不难看出，空中交通管制，空中交通通信、导航、雷达、气象和航行情报与航空器运行的安全有着密切的联系。

## 1. 2. 4 错误和失误

通信、沟通、协作

### (1) 管制员和飞行员不得喊错呼号

在航空管制中，呼号是不得喊错的重要事项。管制员和飞行员混淆了呼号，向别的飞机做指示，或者弄错后而进行应答的话，将在航空交通管制中引起混乱，甚至演变为空中相撞。

### (2) 驾驶员—空管员通话要用标准用语

### (3) 错、漏、忘飞机

管制员错、漏、忘飞机，对于空中交通的安全性将造成极大的影响。

空管工作中，管制员通过管制指令实现管制意图，其过程是：获得、捕捉信息，大脑分析处理信息，做出决策，发出语音指令信息，监视、监听反馈信息。显然，这一连串的思维活动的主观性非常强，人为制约因素很多，特别容易产生差错。

## 1. 2. 5 技术性因素

### 1、.经验贫乏，业务生疏

-----对空中动态判断、计算、调配错误。

-----理论水平低，一些基本的空管理论不扎实，如，混淆高度表的三个拨正值，仪表飞行和目视飞行的标准、规则不清楚。

-----技术水平低，错误使用雷达、通信、导航、灯光等设备。

-----不了解航空器的基本性能，飞行原理。

-----不熟悉管制空域范围结构、机场周围地形地貌、进离场程序、航线安全高度。

### 2、管制系统与人关系不协调

-----人-机关系。系统设置不完善或现有设备达不到性能指标，是客观的管制致错因素。管制系统能力不足将额外增大管制的劳动强度，设备使用不当也将人为降低其效用，如雷达的工作模式选用不当，视频图和显示距离选择不当等管制功能使用问题，也会扰乱雷达对航空器的显示，产生一系列错误的管制信息，而导致管制错误。

-----工作环境。工作空间的布局如不利于管制员集中精力，完成听、说、写、输入、传递等常规管制操作，势必人为增加操作致错的可能。

## 1. 2. 6 非技术因素

### 天赋不足、基本素质有缺陷

-----反应迟钝，心理素质差，调配方法呆板。如，即使发现双机有危险冲突，也不能采取避免措施。

-----配合协调能力差，独断专行，缺乏协作意识。

-----心理承受能力弱，管制情绪紧张，理论水平不能在实际操作中体现出来，不适应大流量、高强度的工作压力。

-----对数字不敏感，听力、理解力、表达力不强。

-----抗干扰能力低，力不从心。

-----空间概念差，冲突意识不强。

-----注意力平均分配，或过分集中。

发生空管错误时，常常伴随着飞机状况或管制过程的不正常变化，管制人员和飞行人员面对这种异常情况的工作适应性和协调性不是很好，它的发生或发展变化也偏离了常规的技术认知和操作，使得管制工作效果变得难以正常预料，从而极易造成空中交通混乱。这种错误如不能被避免或及时纠正，将直接导致航空器之间以及航空器

与地面障碍物相撞的严重飞行事故，使得管制失去了应有的对飞行安全的保障效果。

## 第二章安全原理

### 2.1 事故预防

#### 2.1.1 事故的定义

事故是以人为主，在与能量系统关联中突然发生的与人的希望和意志相反的事件。事故是意外的变故或灾祸。

事故也可以定义为：个人或集体在时间进程中，为实现某一意图而采取行动的过程中，突然发生了与人的意志相反的情况，迫使这种行动暂时地或永久地停止的事件。

#### 2.1.2 事故的特征

##### 1、事故的因果性

因果性，是某一现象作为另一现象发生的依据的两种现象之关联性。

事故是相互联系的诸原因的结果。事故这一现象都和其他现象有着直接或间接的联系。在这一关系上看来是“因”的现象，在另一关系上却会以“果”出现，反之亦然。

##### 2、事故的偶然性、必然性和规律性

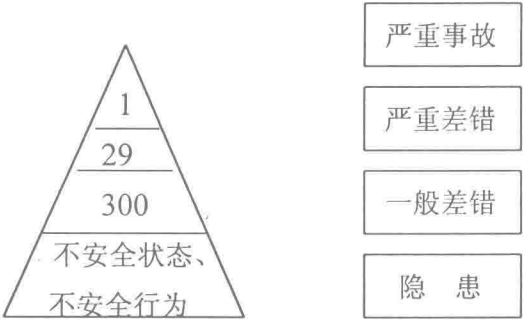
事故具有突发性，常常在人们意想不到的情况下突然发生。这种突发性使得航空事故归类于“偶然事件”。

辩证法告诉我们，偶然中包含着必然。航空事故是偶然的，又具有必然性。

首先，事故的发生总是有原因的。事故调查最初揭露的是直接原因，或者机件失效，或者恶劣天气，而现代航空更多的是人为差错。经过分析，可以找到一线管理层存在的缺陷；再深入分析可以追溯到决策层的错误。例如，决策者不顾主客观条件盲目扩大规模，必然会因资源不足而导致一线管理的混乱和疏漏。飞机周转不过来就可能让有故障的飞机勉强上天；人员短缺，就可能简化培训程序，放宽技术标准，放出不过硬、不合格的机组。这就难免在飞行中出现事故和差错了。当然，事故何时发生，怎样发生，取决于触发因素。事故何时何地发生具有偶然性，但系统潜在的各种危险因素已经使得事故犹如箭在弦上，一触即发。因此，事故的发生看似偶然，实则是各

种原因共同促成的必然结果。

事故的必然性，还可体现在统计的规律性。根据 FRANK BIRD 的事故三角形理论，大约每 300 次一般差错，会有 29 次严重差错；有 1 次严重事故。对我国民航的资料所作的初步分析表明，大约每 35 次事故征候，就有 1 次二等以上的事故，与事故三角形基本一致。



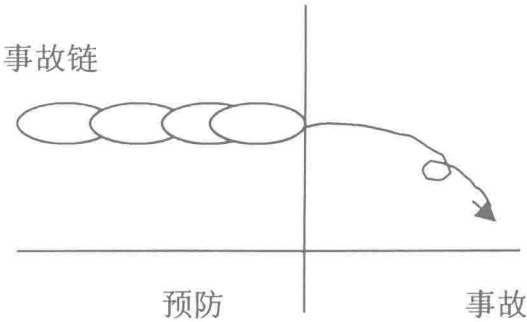
事故三角形表明，小的差错多了，会酿成大的差错；事故征候多了，会发生事故。小的差错暴露了系统存在的缺陷，说明危险因素在潜在地发展着。

综上所述，事故的确表现为偶然的突发事件，但民航事故又是民用航空系统存在缺陷的必然结果。有效的制止了风险因素变成现实危险的可能性，事故是完全可以预防的；但若系统已经处于危险状态，则事故的发生又是不以人的良好愿望为转移的必然。正确认识事故偶然性与必然性之间的辩证关系，通过事故或事件的深入调查与分析，找出各种差错和问题与民航系统各要素之间的内在联系和规律性，进而采取相应的防范措施，是确保民航系统安全的有效途径。

2. 1. 3 基元事件分析

1、事件链

系统安全理论指出，事故的发生通常不是孤立事件的结果，而是多种系统缺陷显现的不幸后果，如图。事故的发生是由于一系列事件，如天气不好、机械故障、判断决策错误、操纵处置不当等，一环扣一环，最终酿成的。这就是事件链，阻断这个链的任何一个环节就可避免事故或减少事故的损失。





事件链理论说明要预防事故必须从那些影响航空安全的事件入手。一个安全事件可能曾经造成过事故,也可能因为其它环节被阻断而只导致了事故征候,或者严重差错或差错。不管是否实际导致过事故,不安全事件都是事故事件链的构件。这类事件隐患一日不消除,就会有引发事故的危险。

采用系统的观点对事故、事故征候进行分析,研究民航系统、民航子系统的关键要素以及存在的缺陷和不足之处,可以为确定评估结构、要素和评估项目提供帮助。

## 2、基元事件

事件这个概念本身具有不确定性,可以有不同的划分和定义。例如一次着陆复飞事故,飞机结冰、单发并放下最大角度襟翼,已经不具备复飞性能。但地面指挥错误地指挥飞机复飞,机组先是不想复飞,后又错误地执行了指挥员的口令,结果复飞失败,飞机坠毁。在这个事故中可以把“复飞错误”看作一个事件;而把指挥错误和机组决断错误称作两个“说明因素”;每个“说明因素”还可有若干“解释因素”。这种定义着眼于飞行过程,由于其“说明”和“解释”的分叉性,增加了系统分析的复杂性。

基元事件定义直接着眼于差错,上述事故中有两个基本事件,“地面指挥错误”和“机组决断错误”。一个事件一个原因,对应一个责任者。这种方法把事件范围缩小,因此称为“基元事件”。

所谓基元事件就是系统的一个基本要素的缺陷或错误,一个人为差错或者其他安全问题,只有一个责任者,阻断它可以预防事故。

基元事件的引入使得事件划分有了一个易把握的统一标准,而事件划分的统一为规范事件分析创造了条件。事实上以往正是因为对事件划分的不一致,不同国家、不同个人对航空事故及其原因都有不同的分析。这种状况妨碍对民用航空系统安全规律的深入认识。基元事件分析方法着眼于人为差错或安全问题,这里安全问题指的是人为差错以外的问题,诸如“机”的不安全状况,“环”的不安全条件等。这些差错或问题都将对安全构成威胁,都可构成导致事故事件链的链环,因而阻断它们可以预防事故。这样就从性质上明确规定了事件,而一个责任者、一个导因又从范围上对事件作了界定,因此基元事件有明确定义,克服了事件定义不明确带来的困难。

事件分析不必局限于航空事故,也可以扩展到包括事故征候、严重差错甚至一般差错。分析范围广,可以累积更多的事件;事件越多,频次计数就越具有统计分析价值。为安全评估指明了方向。

### 2.1.4 事故分析

调查分析事故的基本目的,是为了能够正确地判定造成事故的主要原因,提出纠正和防范措施。由于大多数事故的发生,涉及许多没有及时发现和处理的事故症候最终受某种或某些因素的触发而致。另一方面,绝大多数事故缺少事故当事人的经历,

难以直接通过事故过程来分析事故的原因。因此，往往会出现同样类型的事故需要同时采取多种措施防范和处理，而有时一种得力的措施就可能避免大范围的事故隐患。但是有的事故原因相对孤立，如果解决了这种原因，就可能避免这一类事故的发生。

国际上一些民航安全组织，通常采用以下几种方法进行事故分析：

(1) 事故链分析法。安全专家认为，一个事故是由“人、飞机、材料、管理和环境”等 5 类事件征候组成的事故链产生的，其中有一种事件是事故的致命因素。因此，只要能够及时采取正确措施，切断事件链，使得事件链中的环节之间不能相互产生作用，就可以避免事故的发生。

(2) 圆盘漏洞分析法。正如事件链的 5 个环节一样，航空运输的正常飞行就像 5 个按照各自规律运转的圆盘。每一个圆盘都有可能存在着漏洞。当某个时刻这 5 个圆盘的漏洞处于同一个位置时，形成了一个直通的漏洞，这就意味发生事故。

(1)、(2) 方法，实质上与事件序列法的原理基本相同。

(3) 事故征候分析法。安全专家认为，任何事故事先都有事故征兆，尽管有时人们没有发现它们，但事实上是存在的。这些征兆有的是显式的，人们能够直观地觉察到，有的是隐式的，不易被人们发觉。通过采取各种方式方法进行检查，及时发觉事故征候并予以处理，将可以避免事故发生。

(4) 运行阶段分析法。根据统计分析，航空运输飞行在从起飞至降落的整个飞行过程中，在不同飞行阶段，发生飞行事故的比率不同。安全专家认为，应该根据飞行阶段来分析事故的原因，提出相应的有效措施进行针对性预防。