

# 内部参考

第一期  
(总第2期)

中国民用机场协会

2019年2月26日

---

编者按：本期围绕“四型机场”建设及新技术应用刊载12篇文稿。

从本期开始，“专题研究”栏目分两期连载王瑞萍理事长署名文章《智慧机场建设初探》。该文依据2018年调研资料，从新一代信息技术革命条件下民用机场生产力重构角度，择要分析和阐述“四型机场”各要素以及“智慧机场与智慧城市”的关系，视野开阔，观点新颖，解读深入，具有一定理论深度，对智慧机场建设具有启示意义。“智慧机场建设主观因素”一节，对扫除智慧机场建设认识误区具有警醒意义。

本期“会员交流”，选载了2018年11月在南京召开的机场建设和环境保护专业委员会会议8篇演讲文稿，均为会员单位专业技术领导和工作人员撰写，从不同角度介绍绿色机场建设实践经验，客观地反映了绿色机场与智慧机场建设的关系，具有借鉴意义。

本期“新技术”，刊载马会先副秘书长署名文章《民用航空与新技术应用》。该文以纵横结合方式，阐明新技术应用是民用航空业重要技术属性的观点，对认识民用机场高质量发展有所助益。中国民用机场协会建设和环境保护专业委员会撰写的《民用机场新技术考察报告》，从三个不同角度介绍新技术应用案例，提供了相关领域信息，值得一读。

本期“国际动态”，刊载中国民用机场协会吴洪宵、乔楠翻译的国际机场协会（ACI）《2017全球机场经济报告》，文中一些趋势性分析和国际宏观数据值得关注。

编者  
二〇一九年二月二十六日

# 本期目录

## 专题研究

- P01 智慧机场建设初探.....王瑞萍

## 会员交流

- P10 大型航空枢纽综合交通策划及前期工作.....董政民

- P14 全生命周期绿色机场建设.....廖剑涛

- P18 大型航空枢纽竖向规划及立体开发.....熊钢 谢佳利

- P21 绿色机场与能源管控平台建设.....林宾

- P24 成都天府国际机场绿色建设实践.....杨剑 邹博宇

- P27 绿色机场建设从源头开始.....曾伟

- P30 中小机场与A-CDM系统.....林伟文

## 新技术

- P32 磁悬浮中央空调解决方案.....段永祥

- P34 民用机场新技术应用考察报告.....陈颖 朱麟

- P37 民用航空与新技术应用.....马会先

## 国际动态

- P46 2018年机场经济报告.....安吉拉·吉滕斯

# 智慧机场建设初探

王瑞萍

根之茂者其实遂，膏之沃者其光晔——韩愈

2008年11月，IBM在纽约外国关系理事会上首次提出“智慧地球”概念。2009年8月，IBM发布《智慧地球赢在中国》计划书，“智慧地球”得到国际普遍认可。2010年，IBM在智慧地球上提出“智慧城市”愿景。

随后，世界多国开始智慧城市建设；再后，由智慧城市引申而来的智慧空间名目繁多，智慧机场是其中之一。不论“智慧机场”从“智慧城市”临摹而来，还是“智慧城市”先天包含“智慧机场”，在新一代信息技术快速发展、快速转化和广泛应用的今天，作为成就伴随近代新技术革命成长、现代化程度最高的航空基础设施理应走在时代前列。

2018年1月，笔者受邀参加华为公司智慧公共交通年会，有关专家介绍了包括智慧机场在内的智慧技术公共交通体系解决方案，由此联想到李德仁院士对智慧城市的一个通俗表达：智慧城市=物联网+互联网。这个简单等式涵盖了以新一代信息技术为核心的庞大新技术群落以及有效应用的必要环境。循此深入，可以大梳理智慧机场建设基本脉络。

2018年12月25日，民航局成立中国民航“四型机场”专家咨询委员会，公布了23个首批标杆示范项目，部署了制定1部建设导则、N部标准和1部评价体系的任务，提出将旅客最关注的航班正点、服务效率等作为“四型机场”建设的核心。循流而下，背风而驰，本

文试从民用机场生产力系统重构角度，探讨智慧机场及“四型机场”建设几个问题。

## 一、智慧机场的劳动工具属性

最大的智慧存在于对事物价值的彻底了解之中。——拉罗什富科

### (一) 劳动工具是生产力发展水平的标志

劳动工具是生产力要素之一，是人们在劳动中使用的一切具体器件，也是生产力发展水平的标志。人类始祖发明、近代科学技术以及新一代信息技术向社会生产领域转化和渗透，首先从劳动工具开始。人类生产力发展史上，劳动工具依次经历了石器、铜器、铁器、机器、电器五种物质的、可以用自然科学精确指明的变革，每一生产力变革都是以劳动工具进步为标志。

1980年托夫勒出版《第三次浪潮》，认为从20世纪50年代开始人类进入信息社会。信息社会是以电子信息技术为基础，以信息为基本发展资源，以信息服务性产业为支柱，以数字化和网络化为基本社会交往方式的新型社会。时隔40年，当我们进一步把“科学技术是第一生产力”更具体地表达为“信息技术是第一生产力”的时候，其主要依据就是新一代信息技术给劳动工具带来的革命性变革，特别是人工智能作为新一轮产业变革的核心驱动力，正在释放历次科技革命和产业变革积蓄的巨大能量，以令人目不暇接、稍倏则无以应对的速度

催生新技术、新产品和新产业，而包括人工智能在内的新一代信息技术本身，就是标志当代社会生产力的新一代劳动工具。

民用机场是跟随近代航空技术发展起来的基础设施服务业，百年来民用机场生产力意义上的劳动工具始终处在发展中。但在我建立“智慧机场”概念之前，以致今天在智慧机场框架下讨论民用机场生产力构成的时候，不能不承认：民用机场尽管是近代工业化和科学技术发展的产物，但在其势迅猛如潮的新技术革命面前，还是带有明显的原始色彩。也不得不承认：智慧机场建设是多领域高新技术综合应用时代民用机场劳动工具脱胎换骨的重大变革，标志着当代民用机场改造自然、保护自然的新型生产力。从这个意义说，智慧机场建设进程和质量，直接决定我国未来民用机场生产力发展水平。

## （二）智慧机场的劳动工具属性

属性是人类对事物的抽象刻画。任何具体事物都有多重性质，都有与其他事物的各种关系。一事物的性质或与他事物的客观联系就是该事物的属性。一事物与他事物相同或相异，也就是该事物与他事物属性的相同或相异。由于事物属性的相同或相异，人类对客观世界的认识就形成了诸多的类，具有相同属性的事物就归为一类。据此分析“平安、绿色、智慧、人文”四型机场各要素，可以发现四个要素语词意义上的并列关系，并不代表其属性的逻辑关系。

从生产力要素角度考察“四型机场”，可以用生产力构成的逻辑标准将其各要素一分为二。智慧机场具有劳动工具属性，是民用机场生产运行的手段。劳动工具不与劳动对象结合或不作用于劳动对象，它就是一个物质的工具符号。以新一代信息技术为核心的智慧技术，在任何一个智慧系统或智慧空间建设中都是工具和手段，工具或手段所作用的事物才具有劳动目的性。这个关系在智慧城市建设实践中表现的十分明确。以欧洲智慧城市建设为例，他们更多关注信息技术在城市生态环境、交通、医疗、智能建筑等民生领域的作用，希望借助知识共享解决诸如低碳，疏堵和资源使用效率

等问题，实现城市可持续发展。由此产生的低碳住宅、智能交通、智能电网等，都是智慧技术这一劳动工具体系所作用的事物，生态、民生、绿色、效率等都是智慧建设的目的，唯独智慧技术是工具性的。

作为劳动工具的新一代信息技术越来越深刻、全面地重塑着当代生产力。正如专家指出的趋势，科学技术对生产推动力日益加大，向生产力转化速度日益加快，各领域新技术相互渗透、相互促进，对经济增长贡献率不断增长，新技术成为社会生产力中最活跃的因素。每一个趋势都是劳动工具革命性变革的结果。我们说新一代信息技术是第一生产力，主要基于四个理由：新一代信息技术成为促进生产力变革第一位推动力量；越来越前于生产发展充分显示第一位先导作用；对经济增长贡献率日益成为含量第一的因素；掌握新一代信息技术的劳动者日益成为生产力发展中第一位的人力资源。诸多第一位表明，当代真正能够大量转化为社会生产力的科学技术，在总体上已不再是传统科学技术，而是当代科技革命中发展起来的信息技术及其体系，其中最引人注目的是能够彻底改造传统产业的新一代信息技术。

根据当代科学技术与生产力之间的作用机制，新一代信息技术同生产力各要素的关系，可用下列公式表示：

$$\text{生产力} = \text{新一代信息技术} \times (\text{劳动力} + \text{劳动工具} + \text{劳动对象} + \text{生产管理})$$

这个公式表明，新一代信息技术不仅是现实的劳动工具，而且在生产力诸要素发展中具有特殊地位，其乘法效应有力地表达了它在生产力中的首要地位和作用。当今世界各国把信息技术以及由此带动的信息产业，乃至信息产业衍生的相关产业纳入战略布局，主要就是基于新一代信息技术的新型生产力系统对人类社会以及提升综合实力带来的深刻影响。

充分认识和准确把握智慧机场劳动工具属性，可以厘清智慧机场与“四型机场”各要素关系，在“四型机场”建设中保持充分理性，保证“四型机场”建设路径正确和富有成效。这一分析不是智慧机场建设技术问题，而是“四型机场”建设顶层设计范畴。

### (三) 智慧机场是集成新一代信息技术的劳动工具体系

以信息技术为主体构成的智慧机场本质上是当代航空基础设施劳动工具体系。智慧机场作为一种劳动工具体系，与近代工业化发展起来的劳动工具一样具有配套性。譬如，在高度精确的航空器维修业中，每一种机型都有其专用维修工具，每一种机型的专用工具都是一个完整的系统，其中每一类专用工具中的每一件又有尺寸、口径、长短、计量方式等多种差异，数以千百计的工具构成配套的专用工具体系。该体系中的每一件工具的用途都是有限的，相互替代性很小。其他领域劳动工具莫不如此，制造业流水线技术装备是最典型的近代劳动工具集成体系，这是通过近代工业化逐步发展完善的。

在集成化或配套属性方面，智慧机场作为民用机场新型劳动工具体系，与工业化发展起来的劳动工具有其相近或相同特征。其不同点至少有两个方面：一是作为航空基础设施服务业，智慧机场这个劳动工具所作用的劳动对象大多是有复杂需求的人，仅以旅客出行为例，在航空出行的多种需求中，其需求有共性的，也有个性的；有确定的，也有不确定的；有事先计划的，也有随机改变的；有身体机能健全的旅客需求，也有残障旅客的特殊需求；有旅客主观决定的，也有由于出行条件变化他定的；有单纯的出行需求，也有附加于出行中的其他需求等等。以新一代信息技术为劳动工具的智慧机场需要满足诸多需求，其高新技术选择及配套程度极其复杂，单一高新技术不可能实现智慧化。二是以新一代信息技术为劳动工具的集成配套与单一应用，两者所产生的功能、效率以及质和量等方面的差，具有很大的倍加或倍减效应，这种倍加或倍减效应远远大于传统劳动工具体系。

尽管从简单或单一开始的新技术应用具有非配套性，一项或几项乃至多项新技术应用也不能就称其为智慧机场，但从循序渐进、逐步完善的意义看，它们对推动智慧机场建设是有意义的。

智慧机场是以新一代信息技术为核心的新

技术群针对特定劳动对象的集成应用，智慧机场集成的所有新一代信息技术及其相关领域新技术，共同实现运输机场的“智慧”功能。在智慧建设新技术综合应用方面，笔者借用有关专家的比喻：移动互联网是智慧机场的“神经”，为智慧机场提供无处不在的网络；物联网是智慧城市的“血管”，使智慧机场实现互联互通；云计算是智慧城市的“心脏”，智慧机场所有数据、所有服务都由它来提供，为民用机场各领域智能化应用提供统一数据平台；大数据则是智慧机场的“大脑”，也是智慧机场建设发展的智慧引擎。只有在这些配套的新技术、新应用综合支撑下，智慧机场才能得以实质性的快速推进和健康发展，真正获得“智慧”实效。也只有在这个意义上或者在这个目标实现的时候，智慧机场作为劳动工具体系才能真正成为民用机场新型生产力发展水平的标志。

劳动工具体系是智慧机场的本质属性。本质属性是决定一事物之所以成为该事物而区别于他事物的属性。事物固有的内在规定性和该事物与其他事物区别性，是本质属性的两个特点。智慧机场作为劳动工具体系的各项指标与“平安、绿色、人文”三个方面的指标体系有本质区别，这是因为智慧机场建设本身是一种产能劳动，而不是产出劳动。产能劳动是为生产劳动所进行的必要的一切准备性劳动行为；直接作用于劳动对象、使劳动对象产生价值化成果的劳动行为才是产出劳动。智慧机场这一劳动工具体系离开“平安、绿色、人文”三类劳动对象以及对其进行劳动的目的性，智慧机场本身就失去了存在的意义，正如没有土地、种子、肥料等劳动对象，种植业劳动工具就一无用处。反之，没有智慧机场这一集成化的技术体系，“平安、绿色、人文”三个方面的劳动对象的感知、传输、分析、监控和调节等就不可能如愿实现。

## 二、“四型机场”中的劳动对象

真正的智慧不仅在于能明察眼前，而且还能预见未来——忒壬斯

按照马克思主义经典作家的观点，从本原意义上讲，生产力是具有劳动能力的人与生产资料结合形成的改造自然的能力。这个传统观点，相对于20世纪40年代末发端信息技术革命之前的生产力发展实践，应当说是正确的。但是，在信息技术革命、特别是新一代信息技术正以加速度向生产力诸要素全面渗透的今天，生产力释义也应当有其时代进步的内涵。笔者认为：生产力是具有劳动能力的人与生产资料结合形成的改造自然、保护自然和塑造自我的能力。这个观点表明传统生产力三个基本要素已经发生巨大变化，简言之就是：新技术革命直接形成的劳动工具日新月异；新技术革命使劳动对象的广度和深度日益扩展，保护自然成为人类无法回避的劳动对象；新一代信息技术导致人的认识方式、思维方式和劳动素质发生深刻变化。

### （一）生产力要素中的劳动对象

劳动对象是指劳动主体使用劳动工具所涉及的一切具体事物的统称。人类通过目的性劳动行为所涉及一切事物，都是劳动对象。劳动对象不但包含了自然界一切，也存在于自然环境之外主观领域。

劳动对象及其范围与劳动工具发展水平关系密切，劳动对象的范围随着科学技术发展和生产力水平提高而扩大，劳动对象的深度和广度反映了人类认识和改造客观世界的视野和能力。人类最初的劳动对象是单一纯粹的，只能针对动物自身生存必不可少的自然产品进行劳动。随着劳动锻炼的漫长过程，劳动者智力越来越发达，劳动工具越来越先进，每当科学技术转化为先进劳动工具，就使人类社会的需求结构、产业结构和产业规模发生或大或小的变化，在这些变化背后就是劳动对象的扩大和升级，这是生产力发展的总趋势。科学技术越发达，生产力发展水平越高，劳动对象范围越

大，劳动成果离大自然越远，社会文明发展水平越高。从劳动全过程看，劳动工具也是劳动对象，是产能劳动的劳动对象，以致保护自然环境、实现可持续发展这样的人类需求也纳入劳动对象范畴。

在新一代信息技术为标志的新型生产力下，生产力要素中的劳动对象也发生深刻变化，社会、经济、政治、文化等一切现实和潜在需求都成为劳动对象。从某种意义上说，满足需求的过程就是劳动，需求被满足就是劳动成果和社会进步；生产力发展和社会进步又不断催生新的需求，新的需求一旦出现，一个新阶段的劳动对象就形成了。

### （二）平安机场、绿色机场、人文机场的劳动对象属性

民用机场与人类航空活动同时产生，其劳动对象从简单到复杂，从粗放到集约，从简陋到系统，经历了100多年的探索、扩展和整合。新一代信息技术是重构民用机场生产力系统的源动力。科学技术发展和先进劳动工的具普及，使诸多潜在社会需求被挖掘出来，需求多样化带动产业结构趋向复杂，进而推动劳动对象范围、规模、深度呈扩大趋势。我们之所以把信息技术作为“第一生产力”，是因为以新一代信息技术为核心的高新技术群，正以越来越快的加速度向生产力诸要素全面渗透，引起劳动者素质和劳动资料深刻变革。

2017年9月，民航局成都会议提出“平安机场、绿色机场、智慧机场、人文机场”建设，2018年12月将其概括为“四型机场”。民用机场高质量发展的基本内涵就是“四型机场”的4个要素。除智慧机场具有劳动工具属性外，“平安、绿色、人文”三个要素都具有劳动对象属性，是民用机场生产运行中所针对的各种具体劳动对象的分类概括。三个要素突破了民用机场传统劳动对象范围，为重新构建民用机场生产力系统提供了实体坐标和劳动对象

框架，预示着民用机场业生产力的巨大进步！

### （1）民用机场新型生产力中的劳动对象——平安

保证航空器安全起降是民用机场业与生俱来的使命。从1903年12月17日“飞行者1号”在30千米风速下的第4次飞行中被一阵突来狂风掀翻坠地开始，安全就成为航空活动至今不变的第一使命。

安全具有最鲜明的目的性。传统的安全保障是民用机场使用传统的具体劳动工具系统，针对整个安全链条诸多环节进行劳动的过程，每一个安全环节都是具体劳动对象。人类航空技术进步使航空活动范围、方式日趋复杂多样，进而推动航空领域安全需求日趋复杂化。作为劳动对象，安全指标范围不断扩展，民用机场保障安全的劳动日渐系统。从最初单一的飞行安全，逐步扩大到飞行安全、空防安全、航空地面安全三个基本方面，形成了航空安全完整概念。在“四型机场”的“平安机场”概念中，不仅包括航空安全三个方面，也包括民用机场治安安全、公共卫生安全、消防安全、防汛安全、信息安全以及应对暴恐和各类应急处置等公共安全。在这里，安全是总目标，但分类目标多种多样，安全指标体系属性复杂，安全责任主体不完全相同，保证安全的方式和协同要求因类而异，“平安”这个总的劳动对象就成为一个极其复杂的劳动对象系统，确保“平安”的劳动目的性，在客观上要求作为劳动工具系统的智慧机场具有前所未有的开放共享功能，“智慧机场”条件下的“平安”，就是要通过智能化互联互通把各类安全主体、安全指标集成共享，提升安全保障水平。从生产力构成角度看，安全虽然具有压倒一切的目的性，但在“四型机场”生产力系统中，它只是一个劳动对象的分支系统。

### （2）民用机场新型生产力中的劳动对象——绿色

人类劳动或生产的最初目的是向大自然索取物质生活资料。物质资料生产是人类社会生存和发展的基础。人类索取物质生活资料的生产力发展水平越高，索取的范围和能力越大，相对对自然生态及人类赖以生存的各类环境因素的破坏越严重。这种一味的单向索取，直至人类充分认识到自然生态和环境破坏将影响和危及人类生存为止，绿色发展才成为人类与自然关系的不二选择。绿色发展需求既是生产力发展的结果，也是生产力发展不够充分的结果。

绿色机场是随着百年民用航空活动规模迅速扩大而逐渐萌芽、产生和纳入生产力系统的劳动对象。1992年，联合国环境与发展大会后，各国际组织、各国政府对可持续发展日益关注，很多学者、研究机构和非政府组织都积极致力于建立和使用可持续发展指标或指标体系，把绿色发展作为人类共同历史使命。2006年，民航局提出建设“新一代民用航空运输系统”构想，远景目标之一就是发展与环境充分协调。中国民航“十三五”规划要求民用机场建立健全节能减排标准体系，制定绿色机场建设标准，研究节能减排评价机制，支持节能减排改造，推广能源管理系统建设，全面实施车辆“油改电”，提高清洁能源占比，稳步提升固体废弃物、污水、垃圾、化学制剂等处理能力，二氧化碳排放量5年均值比“十二五”下降4%以上。在这一系列发展理念和具体要求中，都把绿色发展作为劳动对象。

目前，绿色机场建设最极致理念，是2011年FENTRESS举办的未来机场设计大赛提出的理念：科技如何发展不在考虑范围之内，科技如何取悦自然才是目标。本次大赛获奖作品有一个共同点，几乎所有设计者都摒弃了停车场，未来航空出行只有利用公共交通工具才能到达机场，设计者们考虑的是如何让机场变成一个自供自净的自然系统。

自然生态和环境保护作为劳动对象，是民用机场生产力重构的重要劳动对象要素，这是

民用机场业的巨大进步。智慧机场条件下绿色发展的具体劳动对象涉及面很广，包括土地、水域、植被、空气等自然生态保护和人类生存环境保护等所有方面，也包括节能、节材、节水、节地等多种资源节约为目的劳动对象。满足民用机场绿色发展需求的复杂劳动，需要综合采用多种高新技术，建设完整、可靠、高效的劳动工具系统，对水耗、能耗、排污、减噪、碳排放、垃圾处理以及所有危害自然生态和人类生存环境因素进行信息化监控和调节，满足可持续发展的劳动总目的。

### (3) 民用机场新型生产力中的劳动对象——人文

2017年9月成都会议提出“人文机场”建设后，学界和媒体在“四型机场”研究和宣传中很少涉及“人文机场”。业内人多认为“人文”内容空泛，边界模糊，难以解释清楚。有的把“人文机场”解释为机场文化，内容显得单薄；有的单纯解释为服务，但阐释不够，略显牵强；更多的则是回避。笔者认为，在研究智慧机场建设或民用机场生产力重构的时候，作为劳动对象的“人文机场”，有必要给出一个基本确定的解释，使“人文机场”有名有实。

“人文”是一个含义极其广泛复杂的概念，作为一个特定领域的劳动对象，应当在其语义宽泛、错综复杂、边界模糊的诸项含义中择要选定，可以考虑四个方面：

- “人文”：先进价值观及其规范，集中体现在重视人、尊重人、关心人、爱护人；
- “人文”：泛指人类文化；
- “人文”：一切事物具有的人文意义；
- “人文”：“人本位”理念，“本位”就是标准。人是衡量一切的尺度，也就是我们常说的人类关怀和生命关怀。

以上四个方面的“人文”含义，都与作为公共基础设施的民用机场发展方向最为贴近。综合几个含义，可以得出如下两个结论：

第一，把“真情服务”纳入“人文机场”范畴于理不悖，民航局把“真情服务”作为3条底线之一，体现的正是人本思想；

第二，综合几个“人文”含义，“人文机场”的含义大致包含4个要点：

- 有鲜明的先进价值观的机场；
- 有浓郁文化特色的机场；
- 处处体现“以人为本”的机场；
- 竭诚提供真情服务的机场。

这四个方面是否能够成为“人文机场”的基本内涵，大家可以讨论。但至少这个解释证明，“人文机场”概念并不空泛，边界大致清楚，作为劳动对象的可施加性很强。运输机场为旅客提供的出行体验、为所有航空用户提供的使用体验、民用机场自身和公共文化建设、包括运输机场自身工作人员在内的一切人文关怀等，都包含着许多具体的劳动对象和劳动目的，都可以囊括在“人文机场”这一劳动对象中，都应当通过智慧机场这一劳动工具系统实现。一切新技术应用都要针对特定的具体劳动对象。应当强调，“人文机场”包含“真情服务”，但外延大于真情服务。“真情服务”是人文机场的核心。本文就是在这个意义上使用“人文机场”概念。至于“人文”在其他方面更深更广的含义可以广泛探讨。

厘清四型机场中劳动工具与劳动对象的关系，对智慧机场建设具有重要实践意义。如上所述，在民用机场高质量发展四个基本内涵中，智慧机场具有生产力要素中的劳动工具属性，是民用机场生产力重构的源动力；“平安、绿色、人文”具有生产力要素中的劳动对象属性和目的属性，三个方面劳动对象在智慧机场这一集成的劳动工具系统作用之下整合完善起来，构成民用机场高质量发展的新型生产力系统的两大要素。

### 三、“四型机场”建设是民用机场生产力的重构

智慧的可靠标志就是能够在平凡中发现奇迹——爱默生

任何一个民用机场的地缘环境、建设规模、设施设备、技术标准、运行模式、管理方式等构成特定生产力体系。这个体系中的人、财、物、环等都是生产资料要素，是航空基础设施生产条件。该体系以某一生产力水平为基础，在新技术不断植入和应用中逐步调节、提升和发展。

生产力各要素的巨大变化必然导致生产力系统重构，经过重构的生产力系统呈现出一个全新的生产力发展水平。我国幅员辽阔，人口决定了航空运输市场潜力巨大，民用机场面临航空业务量持续高增长，基础资源日益紧张，保障资源普遍紧缺，运行对环境的影响日见明显，社会需求和民用机场自身可持续发展需求日趋多样化等多方面瓶颈或短板。适应发展需求，突破发展瓶颈，必须站在时代前沿扩大生产力发展视野，挖掘更多更深的潜在劳动对象，综合采用新一代信息技术为核心的高新技术群推进生产力要素重构。

从生产力重构角度认识智慧机场建设，可以认为智慧机场建设是民用机场生产力革命性变革的过程。以新一代信息技术为支撑的智慧机场建设不是现有运行方式的简单复制，不仅需要生产力要素的重构，也必将对传统观念和习惯方式带来挑战和冲击，各方面主体的理念乃至利益冲突不可避免。

### （一）智慧机场生产力要素结构对称性

人类社会每一个发展阶段的生产力都是一个自洽系统，生产力各要素之间的结构都具有劳动工具所标志的时代特征。1912年，熊彼特出版《经济发展理论》首次提出创新理论，这个几乎与人类航空业发展历史同时产生理论，以“创新”为核心研究经济发展实质性动力与机制，认为“创新”就是把生产要素和生产条件的新组合引入生产体系，建立一种新的生产函数。

生产力系统的结构就是组成生产力各要素之间的关系。生产力各要素之间总体上要求结构对称，包括：劳动者与劳动工具、劳动对象对称，劳动者技能素质与技术装备匹配，劳动能力足以作用于劳动对象和实现劳动目的；劳动工具与各种劳动对象对称，劳动工具具有足以驾驭劳动对象的功能；劳动对象各要素之间大致对称，上下游劳动成果与劳动对象之间能够形成和谐的产业链。生产力各要素结构对称程度决定生产力发展速度，生产力发展是主客体相互作用的结果，也是社会系统的整体功能得结果。生产力各要素之间结构基本对称，生产力发展速度就快；反之，生产力发展速度就慢。当我们基于包括智能技术在内的新一代信息技术提供的可能性，重新审视民用机场生产力体系的时候，生产力各要素“新组合”要求应运而生。“智慧机场”概念下的“新组合”，就是基于新一代信息技术为核心的多领域高新技术的综合应用，重新构建一个生产力要素有机整体，其中最值得关注的是劳动工具体系指标与劳动对象指标的匹配性。整体设计、综合应用是智慧机场建设应有理念。

在信息技术支撑下，全球运输机场生产力系统处在全方位重构时代，在新技术框架下衍生出一系列更高标准的劳动对象。美国凤凰城机场所有航站楼设有能量管理系统，包括数字控制、电子阀、集中控制室等。日本成田机场“3R”，旨在对废弃物减少(Reduce)、再使用(Reuse)、回收再利用(Recycle)，每年循环回收航站楼废弃物156吨，循环使用率20%以上。芝加哥奥黑尔国际机场是美国最繁忙的机场之一，但它在可持续发展规划方面始终处于领先地位。2003年，芝加哥航空局(CDA)出台《可持续性设计手册》，由此衍生出的《机场可持续性设计手册》，是全美第一份为运输机场可持续性设计提供指导文件。CDA采取一系列新技术改造设备，实施雨水及土地使用规划，推行垃圾分级管理，采用可再生能源和可替代燃料的地面交通工具等。该机场跑道改造采取

平行设计模型，共有6条东西向平行跑道和2条位于两端的纵向跑道，增强资源容量。

我国绿色机场建设研究和实践起步稍晚。2012年《国务院关于促进民航业发展的若干意见》提出建设低碳航空，推动绿色机场发展。之后民航局陆续出台《民航行业节能减排规划》等一系列规范性文件和行业标准。在生产力系统重构实践中，青岛胶东国际机场采用多种新技术建设独立能源中心和全体系化绿色雨水管理系统，重庆江北国际机场东航站区及第三跑道扩建工程建设从8个方面实施全程面绿色控制，成都天府国际机场追求规划、建筑、交通、能源、美化、排污、施工、出行、运行全生命周期绿色建设，都是我国绿色机场建设的突出案例。

## （二）智慧机场生产力重构全方位性

在智慧机场条件下，大量新技术渗透于生产力诸基本要素转化为现实生产能力，传统运行方式中大量手工操作转变为智能化监控和调节，带来生产资料性质、范围、规模的深刻变化。

在同一条件下，劳动对象性质、范围、规模发生重大变革。劳动对象不再是简单的各项业务增量和粗放指标，环境保护和人文关怀进入劳动对象范畴，系统化环境指标、良好出行体验与民用机场其他经济指标一同产出；不仅包括扩充等量资源容量，也需要运行方式和运行秩序重构；不仅改变自身劳动工具体系，而且涉及其他领域劳动工具改进。

在同一条件下，劳动者认识方式、思维方式及技能结构发生深刻变化，生产过程中体力因素比重越来越小，智力因素占比越来越大，对知识具有吸取、掌握、分析、筛选、运用和生产能力的劳动者成为主流，生产过程从劳动密集向知识密集和新技术应用密集转化。知识资本成为民用机场发展最重要的资源，财富累积、经济增长、个人发展均以知识为基础。

鉴于智慧机场与“平安、绿色、人文”机场在生产力系统中的关系，目前正在研究制定中的《智慧机场建设导则》就不能仅仅研究智慧机场技术问题，应当将劳动工具与劳动对象一体规范。从一定意义上说，劳动对象指标体系研究比劳动工具更重要，因为一个劳动对象

指标可以通过不同的技术方案实现。《导则》既不是方案性的，也不是规定性的，而是指导智慧机场建设的工具性知识体系，充分揭示和体现劳动工具与劳动对象的关系。《导则》编制是我国民用机场知识体系重构过程，许多事物需要重新认识，很多潜在需求需要深入挖掘。

## （三）智慧机场在四型机场建设中的龙头地位

智慧机场是当代民用机场生产力的劳动工具体系。劳动工具设计构造的先进性和适用性，决定其对劳动对象施加作用的效率和效果，在很大程度上决定劳动成果的数量和质量以及对需求的满足程度。

智慧机场作为劳动工具体系是“平安、绿色、人文”机场建设的技术载体，具有工具属性；“平安、绿色、人文”机场作为劳动对象体系是智慧机场建设的内容，具有目的属性。离开智慧机场建设，其他三项建设必然在传统方式或重大技术缺陷中裹足不前；离开平安、绿色、人文机场建设，智慧机场建设失去了存在理由。这是“四型机场”建设内在逻辑。承认智慧机场龙头效用，抓住智慧机场建设这个龙头，对“四型机场”建设具有全局带动性，对推动运输机场传统运行方式革命性变革具有全局支撑功能。符合运输机场管理和运营智能化发展方向。因此，把“四型机场”建设作为一个有机整体考虑，在新一代信息技术为支撑的智慧机场建设大框架下整体规划是“四型机场”建设的内在要求。

智慧机场在“四型机场”建设中的龙头地位是由其新技术革命属性决定的。有关专家曾对数字空间和智慧空间的差异作如下比较：

1. 数字空间通过地理空间信息与该空间各方面信息的数字化在虚拟空间再现传统空间，智慧空间则注重在此基础上进一步利用传感技术、智能技术实现对该空间运行状态的自动、实时、全面、透彻的感知。

2. 数字空间通过该空间内各行业信息化提高各行业管理效率和服务质量，智慧空间则更强调从行业分割、相对封闭的信息化架构迈向开放、整合、协同的信息化巨系统架构，发挥空间信息化的整体效能。

3. 数字空间基于互联网形成初步业务协同，智慧空间则更注重通过泛在网络、移动技术实现无所不在的互联和随时随地随身的智能融合服务。

4. 数字空间关注数据资源生产、积累和应用，智慧空间更关注用户视角的服务设计和提供。

5. 数字空间更多注重利用信息技术实现空间各领域的信息化以提升社会生产效率，智慧空间则更强调人的主体地位，更强调开放创新空间的塑造及人的参与、用户体验及实现可持续创新。

6. 数字空间致力于通过信息化手段实现空间运行与发展各方面功能，提高运行效率，服务管理和发展，智慧空间则更强调通过政府、市场、社会各方力量的参与和协同实现空间公共价值塑造和独特价值创造。

这里说的“空间”是一个抽象概念，可以适用当下各行各业所提的数字化建设和智慧建设，而彻底的数字化则民用机场尚未实现的，从中不难体悟出智慧机场建设对民用机场业生产力重构的革命性改造。

应当强调，智慧机场是“四型机场”建设的龙头，并非说“四型机场”建设技术第一，“龙头”不等于“核心”。人类物质生活资料生产的核心一定是目的性的，在若干个目的性要素中，最重要、最基本、最体现行业属性的哪一个目的才是核心。同理，智慧机场建设“核心”也不是技术，无论怎么分析和认定，最终表达智慧机场建设“核心”的概念，都要归于劳动对象的范畴：一切人和一切物。譬如，西安咸阳机场提出“智慧机场以旅客为核心”，据此采用基于人脸识别技术的多功能智能航班显示系统。该系统可主动识别旅客身份，突出显示该旅客航班信息及状态，提供登机口导航、航班动态、气象报告等个性化信息提示服务。在这里，旅客出行、旅客身份、安全检查、登机口、航班动态、天气信息等，都是智慧机场条件下不同层次细分的劳动对象，基于人脸识别的多功能智能航班显示系统是劳动工具，旅客良好的出行体验是该系统作用于劳动对象的成果或目的。智慧机场这一模块所

有技术安排要围绕旅客出行展开，而智慧机场为旅客提供的所有便捷及服务，都要在新技术群落下设计和再造。这是“核心”与“龙头”的关系。

“龙头”只是纷繁复杂事物中的头绪，抓住智慧机场这个龙头，才能打开“平安、绿色、人文”三个基本劳动对象改变原有面貌的通道很空间；只有“平安、绿色、人文”三个基本方面劳动对象指标体系完善了，智慧机场建设技术方案选择才有所依据，也才能更有效地把“平安、绿色、人文”三个基本劳动对象置于智慧机场控制之下。智慧机场作为民用机场新型生产力系统中的劳动工具要素，应当实现对若干方面、若干层次、若干细节的每一个具体劳动对象子系统以及劳动对象的无数个技术指标实现智能化监控和调节，使“平安、绿色、人文”三个方面劳动成果的性状、效率、质量发生质的变化，满足不断涌现的社会需求。

智慧机场作为劳动工具体系，不仅直接带动物联网、云计算、三网融合等新一代信息技术以及相关战略性新兴产业融入民用航空领域，改变民用机场发展方式，调整资源结构，优化资源容量，提升资源使用效率，也将在更高层次上加快航空公共基础设施融入国家综合交通运输体系和国防战略预置。这是智慧机场建设基本意义所在。

最后，关于什么是智慧机场？笔者认为，就目前学界观点比较，中国民航大学徐涛教授的说法较为准确，他认为：机场智慧化是充分利用大数据、物联网、空间感知、云计算、移动互联网等新一代信息技术，综合运用交通科学、系统方法、人工智能、知识挖掘等理论与工具，以全面感知、深度融合、主动服务、科学决策为目标，通过实时的动态信息服务体系，深度挖掘机场运行相关数据，形成问题分析模型，提升机场资源配置优化、公共决策、运营管理、公众服务等能力。

（未完待续）

（作者系中国民用机场协会理事长）

# 大型航空枢纽综合交通策划及前期工作

董政民

2018年《全国民用运输机场布局规划》规划了全国3大世界级机场群、10个国际航空枢纽和29个区域枢纽。39个航空枢纽是我国航空运输基础设施的高端节点和支撑性框架。随着航空枢纽建设推进，以航空枢纽为核心的综合交通的作用日益突出，已经成为航空枢纽、特别是大型航空枢纽规划、设计不可或缺的重要组成部分。如何做好综合交通规划，是大型国际航空枢纽建设重点，承担着把握方向的重任。

上海机场自1996年浦东国际机场一期工程开始，经2004年浦东国际机场二期建设，再到2006年虹桥国际机场二期建设，对于大型航空枢纽综合交通规划的认识是一个逐步深化的过程。浦东国际机场一期工程是按照传统航站楼、车道边、停车楼进行规划设计。投入运行后，发现人车分流不畅、车道边拥堵、竖向交通不便等问题突出，严重影响服务质量和服务效率。浦东二期建设中，对航站区陆侧各类交通进行了专题研究，提出“一体化交通中心”概念，解决了一期工程的难点、痛点。之后，在虹桥国际机场二期建设中，结合高铁虹桥站规划，进一步提出“综合交通枢纽”概念，开展一系列研究和组织协调工作，实现共同发展、多方共赢。

大型航空枢纽综合交通策划及前期工作十分重要，它可以保证后续研究和规划设计工作有序开展，及时发现工作重点、难点和问题。本文依据上海浦东国际机场、虹桥国际机场综合交通策划实践、相关资料和刘武君总工程师

专著，仅就大型航空枢纽综合交通策划及前期工作谈几点体会。

## 一、大型航空枢纽综合交通策划前期工作

大型国际航空枢纽综合交通是多种交通方式的集成，由此产生各类交通设施的需求。其中轨道交通快速、大运量、准点、舒适便捷等特点非常符合航空旅客需要，是构成大型国际航空枢纽综合交通必不可少的组成部分。大型航空枢纽综合交通策划涉及多种交通方式、多方主体、多个行政管理系统，规划、设计比较复杂，做好前期研究工作十分必要。

前期研究工作的主要对象是国际航空枢纽航站区陆侧区域各类交通设施布局；研究目的是科学布局、方便换乘、强化功能、提高运行效率；整合资源、增强辐射范围，确定枢纽建设定位、目标、功能及可行性。研究路线可以依次做好五个方面分析和研究：

- 背景分析；
- 必要性分析；
- 功能分析；
- 技术分析；
- 实施策略分析。

背景分析主要任务是系统梳理项目建设及发展背景、现状和项目在地区和城市中的地位；必要性分析的实质就是需求和市场分析，两个分析应当解决项目发展定位。功能分析要根据需求和发展定位确定综合交通枢纽各类功能配置，解决项目建设目标和发展目标。技术

分析的任务是确定规划原则，完成不同规划方案比选。实施策略分析主要任务是进一步细化规划方案和技术难点，解决可行性问题。从建设单位策划角度看，重点是前三个阶段。总之，按照5步工作路线要解决的就是三大问题：定位、目标、可行性。譬如，上海航空枢纽综合交通策划前期背景分析思路如下：

### （一）发展背景和现状分析是前期策划起步点

背景分析绝不是可有可无的工作。只有做好背景资料收集和分析才能摸清家底，明白自身优势和短板，确定研究方向。这方面工作必须做深、做细。背景分析主要是围绕区域经济、区域城市和交通规划以及航空公司发展规划三个方面。三者关系是：与经济发展一致是前提，与规划衔接是保障，与航空公司共同发展是根本。虹桥综合交通枢纽建设中，在这方面做了大量收集、分析、研究工作，通过背景分析确定哪些方面可以作进一步研究。

背景分析要紧密结合地区经济体量、活跃程度及发展规划；结合所在城市经济地位及发展规划；结合地区各类交通基础设施现状及发展规划；结合所在城市总体规划、交通设施发展规划；结合航空市场及主要航空公司发展规划。需要强调：除旅客以外，航空公司也是机场另一个重要服务对象。所有航空旅客都来自航空公司，只有与航空公司共同发展，才能发挥枢纽效应，增加辐射范围，实现多方共赢。

### （二）项目地位和作用是背景分析重要内容

项目地位和作用分析主要是确定围绕交通枢纽可以做些什么，其中社会、经济效益是基础。分析目的是通过综合交通建设提升服务水平，促进综合交通体系结构合理化，多方获益。分析研究重点包括：

- 在地区和城市交通中所处节点；
- 优势和缺陷；
- 潜在市场和辐射范围；

- 综合交通体系各方作用；
- 存在的主要问题和痛点。

譬如，通过对上海浦东国控机场和虹桥国际机场各方面条件研究分析，最后确定的两场定位是：浦东国际机场是面向全球的大型国际航空枢纽，虹桥国际机场则是面向长三角的国内精品航空枢纽。

### （三）多主体需求是背景分析的深化

背景分析必然深化到国家现行行政管理体制以及多主体需求。综合交通枢纽涉及多种交通方式、多个主体，工作顺利推进离不开各方配合和相互支持。满足各方需求是根本，包括：

- 各类旅客需求；
- 各方主体需求；
- 政策方面支持。

每一个方面需要研究的内容主要包括：

- 辐射范围内各类交通方式的市场；
- 市场各方主体的构成；
- 各方主体关注点和积极性；
- 政策和推进方面问题。

譬如，在虹桥国际机场到浦东国际机场的两场联络线规划中，通过研究分析，将原来地铁制式调整为铁路制式，满足高铁、城铁和两场地铁共线共站运行，不但解决了两场旅客快速交通问题，也方便了高铁和城铁的旅客直接到达浦东机场和迪斯尼等。

各机场情况不同、条件不同，合理定位是开展后续工作的前提，是明确大方向的关键，也是投入运行后能否发挥预期效果的根本。

## 二、大型航空枢纽综合交通策划要点

经过上海浦东国际机场、虹桥国际机场20年发展规划实践，我们认为，大型航空枢纽综合交通规划应当关注5个方面基本问题：

### （一）大型航空枢纽综合交通基本需求

大型航空枢纽综合交通多主体、多需求、

多功能特征，决定其规划目标之一就是合理布局多类设施，实现多种功能，满足各方需求。包括：

- 社会一般需求：公共安全、环境保护、绿色发展；
- 旅客需求：便捷、快速、舒适，具体包括枢纽通达范围、交通方式种类、换乘便捷程度、二次中转节点、直达目的地数量、满足个性需求程度、出行服务选择范围、各类交通方式服务频率、公共服务配套程度等；
- 各种交通方式运行需求：运行安全、经济性、便于管理和未来发展空间；
- 各类主体需求：投入和产出、成本和收益、未来发展前景；满足生活需求，提供生活便利；B2C商务功能、B2B商务功能、企业和政府需求；交流、交易和行政服务需求；
- 周边发展需求：带动区域产业和城市发展等。

在虹桥国际机场综合交通枢纽规划建设中，对各类需求分析做的比较详细和全面。

## （二）大型航空枢纽综合交通基本特征

多种需求决定了综合交通枢纽基本特征，主要包括：

- 易衔接性：应当布局在城市容易衔接的要冲地点；
- 特定目的性：使用者有移动、转乘等特定目的；
- 规则性：每天早晚有上下班高峰时段；
- 高度聚客性：大量人流在局限的空间内往来；
- 高周转性：最多1-2小时逗留；
- 广域交流性：容易聚合远方人流。

大型航空枢纽综合交通具有乘降乘转空间复合化趋势，应当充分考虑安全、大量、迅速、正确+支持乘降、乘转前后的非交通活动，为非交通设施利用者提供服务。

## （三）大型航空枢纽综合交通基本功能

大型航空枢纽综合交通基本功包括旅客服务

提升体验、保证安全高效运行、体现多方共赢。

### ●旅客服务功能

应当把综合交通中心作为航空旅客服务的延伸。旅客和行李的流线应当简洁、明确、直达，避免平面交叉，业务功能延伸。从旅客角度布置相关服务功能，分清主次、注重细节；各类交通信息互通互联、共同发布；注重新技术应用。

### ●运行管理功能

结合各类交通方式运行管理模式，同步研究各方主体运行管理模式；确定各方管理界面和需求，做到界面清晰、需求明确。在虹桥机场综合交通枢纽规划设计中，我们提前分析各方主体运行管理需求，在设计中就考虑了后续管理界面和设施拆分，按照是否可拆分、是否可经营的逻辑标准把枢纽设施分为四种类型。

### ●多方共赢功能

应当充分考虑多方主体共同拓展市场、提升效益、分摊成本。通过集成效应加大辐射范围，形成良性循环；通过旅客联运增加市场份额；共同拓展附加服务和商业开发，合理分摊业务成本。

## （四）大型航空枢纽综合交通基本类型

根据背景条件、地位作用和各方需求，大型航空枢纽综合交通大致分三类：

### ●单核心

以某种交通方式为主，其他交通通方式为其服务；

### ●双核心

以两种交通方式为主，其他交通方式为辅；

### ●均衡型

各类交通运输方式业务比例基本均衡。

不同类型综合交通枢纽，对平面和竖向规划布局会有不同要求。大部分运输机场航站区综合

交通枢纽是单核心，轨道、公交等交通方式都是围绕航空旅客展开服务。虹桥国际机场综合交通枢纽为双核心，即以航空和高铁为主。2017年，虹桥国际机场旅客吞吐量近4000万人次，高铁虹桥站旅客吞吐量1亿人次，另外还有地铁客流。规划布局要充分考虑足够缓冲区域，避免两种旅客互相影响。

#### （五）大型航空枢纽综合交通平面布局基本形式

从航站楼和轨道交通——高铁、城铁、地铁以及陆侧捷运系统布局看，大型航空枢纽综合交通平面布局可分为三种基本形式：

##### ●一体式

航站楼主楼与轨道交通站在同一个建筑体内或紧邻航站楼，通过竖向设计布置各类功能。主要优点是旅客步行距离短。这种布局最适用于单个航站主楼，轨道交通及陆侧捷运旅客主要是航空旅客的情况。

##### ●哑铃式

航站楼主楼与轨道交通站分别位于两头，中间布置其他交通设施。主要优点是轨道交通和航空运输两种运行互不干扰，适用航站主楼与轨道交通均有各自目标旅客，且运量都比较大的情况。

##### ●中心式

航站楼主楼与轨道交通站位于航站区中心，与周边多个航站楼主楼连接。主要优点是航空旅客至各航站楼距离基本相等，适用于多个航站主楼、航空旅客为主的情况。

### 三、大型航空枢纽综合交通建设协调机制

由于综合交通枢纽建设涉及多方主体，前期策划阶段就要对日后的组织同步研究。此类项目建设组织协调量大，单靠机场建设单位无法实现。机场当局一方面要跳出机场小圈子，在更大更高平台上得到政府大力支持；另一方面，又要

主动积极争取发挥主导作用，搭建各方共同合作平台，统一协调推进。

大型航空枢纽综合交通建设能否顺利实施，关键环节之一是建立高效的协调平台。上海虹桥国际机场综合交通枢纽建设中，在上海市政府领导下，建立三个层次协作平台，统一工作机制，以保证项目顺利推进。

#### （一）协调平台

成立上海市虹桥交通枢纽建设领导小组，申虹公司为日常办公机构，负责枢纽市政配套和整体协调工作。虹桥枢纽建设涉及的各方主体，包括上海市虹桥交通枢纽工程建设指挥部、闵行区政府、长宁区政府、上海虹桥国际机场建设指挥部、上海高铁建设指挥部、上海地铁建设指挥部，都在统一领导平台上工作，统一协调，各负其责。

#### （二）规划平台

虹桥综合交通枢纽建设指挥部是虹桥综合交通枢纽规划平台，负责规划总体协调，控制性详细规划以及水务规划、道路规划、轨道交通规划、绿化规划、公共交通规划、环保规划、燃气规划、邮政通信规划、消防规划等，都纳入这个平台统一规划。

#### （三）设计平台

虹桥综合交通枢纽建设指挥部负责工程总体设计。工程总体设计之下的枢纽地区总体设计、高铁总体设计、建筑造型总协调，虹桥国际机场工程总体设计及其所有下属子项设计，都纳入虹桥综合交通枢纽建设指挥部一体管控。

上海大型航空枢纽综合交通策划及前期工作是在实践中成熟起来的，每项具体工作思路和内容，在刘武君著作中均有详述。

（作者系上海机场建设指挥部设计管理部部长）

# 全生命周期绿色机场建设

——广州白云国际机场二期扩建回顾

廖剑涛

“资源节约、环境友好、节能高效、以人为本”这一绿色机场核心内涵要求从全生命周期视角有机整合各类要素，做到规划、设计、建设、运行各环节、各阶段高度协调统一，实现全生命周期绿色发展。

广州白云国际机场二期扩建立项之初，就确定了建设全生命周期绿色机场目标，实施系统的绿色规划、设计、建设和运营，达到了国家绿色建筑评价三星级别，成为绿色机场建设成功案例。

## 一、规划和设计

### (一) 节地、节能的航站区规划

T2是二期扩建重点之一。曾提出3个方案，即分离站坪方案、中滑方案、北站坪方案。方案选择是在总体规划框架下，以T2构型、空侧运行及陆侧交通综合分析为基础，对3个方案进行比对研究，最终确定采用北站坪方案。其主要优点是：

- 空侧及陆侧运行效率最高，近机位最多，近距离大机位多，飞机和车辆运行效率高，有效节约能耗；
- 节约用地：航站楼建筑构型集中，有效节约用地，让出更多地块建设配套设施。
- 楼内步行距离适中，国际国内互转方便，流程简洁高效、中转互换方便，有效提高航站楼资源使用效率，降低能耗。

● 航站楼紧邻交通中心，陆侧交通高效贯通，轨道交通连接便捷，陆侧交通人车分流合理。

结合二期扩建，以配置北工作区110kv中心变电站为契机，改造原有主干管网，新建管网与原有主干管网合理对接，减少重复投入；核心区域新建两条综合管廊，重新规划南北工作区交通流程，南北工作区资源配置更加方便合理，交通更畅顺。二期扩建整体上服从于总平面规划，为三期扩建作了充分考虑和预留。

### (二) 节地、节能的航站楼工艺

航站楼是建设绿色机场重点部位，对节地、节水、节材、降低建设、运营以及社会成本尤为重要。T2绿色建设主要体现在四个方面：

● 国内流程全面采用混流设计，出发和到达不分层，减少传统分流设计到达楼层的通道和服务机房面积，大量节约建筑面积、建筑材料；出发和到达共用楼内机电及卫生间、电梯、柜台等服务设施，减少传统到达层能耗，有效节约能源。

● 设置多个国际、国内可转换机位，利用国际、国内航班错峰，将国际国内出发到达楼层立体叠加，共用登机桥固定端及机位，节约登机桥固定端和活动端，有效节约用地、建筑面积和建筑材料，流程更加灵活便捷。

● 设置国际、国内可转换安检大厅。T2将国际、国内安检并排设置为第一关，利用国际、

国内高峰小时错峰，对安检通道进行功能切换。有效节约用地、建筑面积和建筑材料，降低运营能耗。

●楼内旅客、行李流程高效便捷，国际国内中转便捷，可有效提高枢纽机场航站楼使用效率，降低能耗。

### （三）充分利用可再生能源

建筑能源消耗在社会能源消耗占比较高，其中公共建筑能耗在建筑能耗中是最高的。民用机场航站楼属大型交通建筑，具有占地面积大、建筑规模大、建设耗材多、运营能耗大等特点。

#### 1. 太阳能

广州地区充足的太阳辐射和日照为太阳能利用提供了良好自然条件。T2计时旅馆、头等舱及商务舱区域均采用太阳能加热泵热水系统，太阳能热水用量占建筑生活热水消耗量72%；安检大厅上方金属屋面采用太阳能光伏发电。

#### 2. 自然光

依据空间尺度及平面功能对典型功能空间进行自然采光专项设计。T2出发大厅上空屋面均匀设置采光天窗，每年节约用电约280万度，约占照明总用电量20%。交通中心地下停车场设置采光井，局部采用光导管，改善地下自然采光。

#### 3. 自然风

采用CFD流体力学软件对建筑平面设计和玻璃幕墙可开启位置及面积进行优化，增强自然通风能力，充分利用自然通风技术减少夏季空调能耗。T2联检区等通风条件较差区域，设置中庭花园以加强自然通风，改善建筑用能效率和提高室内空气品质。

### （四）非传统水源利用和水资源节约

T2设置雨水收集系统。收集雨水经过滤消毒处理后通过水泵直接引入杂用水管网，

用作绿化浇灌、幕墙冲洗和车库冲洗。航站区景观绿化灌溉继续采用自动喷灌设备，水源是处理后洁净雨水。每年非传统水源利用量57946.67m<sup>3</sup>，非传统水源利用率2.46%。给水管道及配件均选用节水型。

### （五）绿色节能建筑维护系统

二期工程广泛使用绿色节能外围护材料及构造。

#### 1. 建筑外墙

大量采用加气混凝土砌块自保温墙体，T2外墙平均传热系数K≤1.04W/m<sup>2</sup>·K；交通中心及停车楼外墙平均传热系数K≤1.63W/m<sup>2</sup>·K；T2屋面采用铝镁锰合金屋面构造，隔热材料采用玻璃棉，导热系数λ≤0.049W/m·K，屋面平均传热系数K≤0.53W/m<sup>2</sup>·K；交通中心及停车楼屋面采用挤塑聚苯板，导热系数λ≤0.030W/m·K；隔热屋面或种植屋面平均传热系数K≤0.61W/m<sup>2</sup>·K。

#### 2. 幕墙及外窗

采用12mm钢化（超白）Low-E+12A+10mm钢化（白玻）+1.52PVB+10mm钢化（白玻）夹胶Low-E中空玻璃配置普通铝合金窗框，外窗传热系数K≤2.66W/m<sup>2</sup>·K，遮阳系数SC≤0.32。外窗及幕墙均设置可开启部分，外窗可开启面积比例不小于30%。外窗气密性不低于国家标准6级，幕墙气密性不低于4级。西5指廊、西6指廊及连接指廊的西向玻璃幕墙均采用可调节水平百叶外遮阳系统。

### （六）改善微观环境的绿化系统

T2楼内设置中庭花园，交通中心及停车楼屋面设置屋顶绿化，空侧联络道间以草皮绿化，陆侧设置大面积景观绿化，以改善整个航站区微观环境及楼内空间舒适度。景观绿化选用适应本地湿热气候和土壤条件、少维护、耐候性强、病虫害少、对人体无害的乡土植物。绿地面积约122925m<sup>2</sup>，绿化率44%。

## (七) 智能、节能机电设备系统

### 1. 大规模冷水主机

T2中央空调冷水主机总制冷量35680冷吨，是目前国内单体航站楼规模最大的冷水主机系统。T2冷水主机全部采用国产品牌，是国内航站楼首次大规模采用国产品牌的项目。

针对如此大规模的空调系统，配置了一个先进的智能“大脑”——冷源群控系统。建立冷源中心大数据分析系统，通过智能模糊控制技术，实现空调冷源系统自动监测和控制。冷源群控系统将冷冻水系统分为24小时使用专用管路系统，水系统分配更合理，保障夜间使用，满足不同区域使用需求。设置变风量控制制冷、热回收空调机组、能源管理与分析治理、建筑设备节能监控、智能照明控制等系统。空调冷冻水系统采用8度大温差，减小输水管径、管材、减少输送能耗；水冷中央空调、风冷多联冷暖空调、精密空调等多种空调方式相结合，满足不同区域使用需求，控制灵活，运行费用低。根据启用以来运行数据分析，系统运行COP均高于设计要求，节能效果良好，为绿色机场节能提供有效解决方案。

### 2. 分区分项监控站

采集大型空调机组、风机、水泵、电扶梯、步道等设备能源参数，通过能源管理系统统计、分析、报警、优化，提高管理水平。

全面管理机电设备。通常不做设置监控的水系统、空调多联机、自动门等均纳入监控平台统一监管，电力监控系统分别设置10KV、0.4KV管理工作站，满足高压与低压管理需求；自动计费系统预留电力载波表接入功能，满足后期商业改造载波电表接入需求；增设商业中心工作站，用于商业水电管理与控制及水电费收取；设置广告电源管理工作站，用于媒体广告用电控制与管理。

### 3. 大量采用新技术

#### ● 节能新技术

照明大量采用大功率LED节能灯具，根据不同场所采用开关控制和0-10V、DALI、DMX512等多种调光技术，对约7万套灯具进行控制；RGBW四色混合彩光LED投光灯，是目前国内使用规模最大彩光LED投光灯交通枢纽项目，通过智能照明系统可柔和过渡各种色彩，和谐切换色调和场景。

部分办公室、小会议室采用热泵式热回收型溶液调湿新风机组，独立控制温湿度，提高舒适性和热回收节能效果。

#### ● 机电信息管理新技术

将二维码技术与智能化系统相结合，设置机电信息管理系统，通过机电设备及系统数据二维码化设计一体化管理平台，保证机电设备或系统设计、生产、安装、调试、验收、使用、维护全生命周期信息一致性、全面性与准确性，实现各机电系统信息共享与资源整合，为物联网技术应用打下扎实的软硬件基础。

#### ● 能源监控新技术

采用VRV多联空调监控系统、HFV溶液空调器监控系统、电梯监控系统、扶梯监控系统、自动步道监控系统、太阳能热水监控系统、雨水收集监控系统、登机桥管理系统等专用系统，减少集成难度，提高监控系统可靠性。

#### ● 调光新技术

依据室内外照度及时间，通过0-10V及DALI调光技术，自动调节办票、安检大厅、值机岛等大空间灯光亮度；通过DMX512控制对办票岛投射灯进行照射角度控制，营造舒适的光环境。

#### ● 空气调节和监控新技术

空调新风口设置中效过滤器，出入口设置自动门，减少空气污染物进入。航站楼各旅客大厅、机房设置温湿度、二氧化碳探测传感器，自

联动新风空调系统，营造舒适空气环境。

#### 4. 绿色出行服务设施设备

T2服务设施设备主要采用国内大规模首用新技术。

●全系统DCV行李分拣处理系统是国内首个完全采用托盘DCV实现最终分拣功能的行李处理系统。该系统装备国内最大货架式早到行李存储系统，拥有4000件行李存储量；完全采用吊挂式安装，创造业内先河，国内首次实现交运行李始发、中转、到达全覆盖，极大提高行李分拣处理效率、准确率和安全性，降低值机人力成本。

●国内首次大规模成功使用自助行李托运系统，完全替代人工操作，大幅减少地面服务工作压力，为旅客提供更加便捷的服务。

●国内首创“人包对应”安检、联检“一机双屏”查验模式，实现海关查验预警和预布控，提升海关监管效率，实现智能化精准监管。

#### 5. 登机桥设备管理系统

白云国际机场自主研发的登机桥设备管理系统，采用网页版、移动端、手机APP多平台模式，具有设备实时监控、桥手和桥载人员任务调度、机组电子化签单、航班计时计费等功能，是国内运输机场首创登机桥运行网络化综合管理系统，集成国内规模最大的登机桥设备应用群组，覆盖179条登机桥、189台飞机专用电源、155台飞机专用空调。

## 二、建设和管理

二期扩建借鉴大型建筑项目策划与组织体系，采用BIM技术进行施工管理，提高参建团队技术水平和管理能力，提高项目质量，在以下各方面发挥了重大作用：

### (一) 可视化协同设计

针对T2与交通中心交界处有地铁城轨隧道、

巴士的士隧道、出港高架、钢结构网架、幕墙、张拉膜等关键复杂工序和工程界面，采用可视化交底、4D进度模拟、关键区域施工模拟分析技术，提前暴露可能出现的施工问题，确保施工有序合理，降低安全风险和工期延误风险。

### (二) 重视施工环境保护

优先采用可循环使用建筑材料，譬如钢材、铝合金型材、木材制品、玻璃制品等；减少不可循环使用建筑材料，譬如混凝土、砂浆、卷材、砌块等，减少重新装修材料浪费和垃圾产生。

### (三) 加强现场施工管理

优化施工总平面布置，通过久临结合等手段，合理配置现场资源，减少重复施工和资源浪费。

## 三、运营管理

二期扩建工程投入使用后，全场负荷调配灵活、分配合理，节能效果很好。运营方利用综合管廊及地下管廊，调配了南北工作区用电负荷，解决了南工作区因高速发展日益严重的负荷紧缺。通过智能空调系统、智能照明系统、建筑设备节能监控系统、BA等智能系统对楼内物理环境进行控制调节，减少能源浪费。在变频空调机组中设置二氧化碳浓度传感器，并与空调系统、新风系统联动，当室内CO<sub>2</sub>浓度≤1000mg/m<sup>3</sup>时，该系统自动调小新风阀至全开10%，测量时隔1小时。结合站坪飞机维修设备设置充电桩，充分利用配电资源。

(作者系广东民航机场建设有限公司机电工程部副经理)

# 大型航空枢纽竖向规划及立体开发

熊钢 谢佳利

面对新时代发展机遇和种种挑战，国际航空枢纽规划目标、理念和方式发生巨大变化。规划目标从单纯满足大流量航空客货吞吐需要，转向建设服务城市或区域发展需求、融入国家综合交通运输体系、辐射全球航空运输网络的大型综合交通枢纽。规划理念从条块转向综合，从技术转向政策，从单式单体转向多式联运，从平面布局转向侧重立体开发。本文从集约型竖向规划角度，介绍成都天府国际机场综合交通枢纽规划实践。

## 一、集约型竖向规划布局由来

### (一) 集约型竖向规划起源

竖向规划布局起源于柯布西耶的《雅典宪章》。20世纪30年代，法国规划师柯布西耶指出：随着城市扩张和人口增加，应当制定相关规划适应城市和地区集约化发展需求，强调高效率交通系统对现代城市的重要性，提出了中心区交通节点分层构建的思想。

柯布西耶将中心区交通重要节点分为三层构建：

- 地上：高架道路用于快速交通；
- 地面：用于慢行交通；
- 地下：铁路交通。

该思想是集约型竖向规划设计的起源，成为20世纪30年代以后指导现代城市交通枢纽规划、设计的重要思想。

### (二) 集约型竖向规划布局的意义

柯布西耶集约型竖向规划思想对大型国际航空枢纽乃至区域航空枢纽规划具有原则性指导意义，对绿色机场建设具有重要现实意义，至少表现在以下几个方面：

- 节约土地资源，适应高密度高强度开发建设需求；
- 有机有序疏解各种交通方式客货流，提升枢纽节点区域功能价值；
- 大型综合交通枢纽体量大，立体化开发可减少后期开发难度；
- 集约型竖向规划具有内在前瞻性，为未来发展预留了空间。

## 二、成都天府国际机场定位和竖向规划原则

### (一) 成都天府国际机场整体规划

成都是西部大开发中心城市之一。成都天府国际机场是完善成渝经济区综合交通运输体系的重要航空基础设施，建成后成都将成为继上海、北京之后第三个“一市两场”城市。

成都天府国际机场总体规划：本期建设北航片区，建设西一、东一、北一3条跑道，2025年满足年旅客吞吐量4000万人次，货邮吞吐量32万吨发展需求。到2045年，建设南北两个航片区，6条跑道，4座航站楼，满足年旅客吞吐量9000万人次、货邮吞吐量71万吨发展需求。

### (二) 成都天府国际机场规划定位

以成都主枢纽为中心，以区域性次级枢纽和节点城市为支撑，以建设出川空中大通道为

重点，构建贯通南北、连接东西、通江达海和安全、便捷、通畅的西部综合交通枢纽，成为：

- 以国际航空枢纽为中心的综合交通枢纽；
- 丝绸之路经济带等级最高航空港；
- 西部地区现代化立体综合交通枢纽；

### （三）成都天府国际机场竖向规划要点

成都天府国际机场航站区是综合交通枢纽核心区域，是集航站楼、穿场隧道、停车楼、行李管廊、综合管廊及大铁、地铁等轨道交通于一体的多功能复合结构。我们按照《雅典宪章》基本原则分层构架，地下轨道交通、地面道路交通、地上高架系统快速交通与航站楼总体功能布局相适应，相互配合。排布诸多复杂设施，主要基于几个要点：

- 充分评估和依据各类设施自身结构稳定性要求以及对其他设施的影响进行属性划分；
- 充分考虑各类设施自身功能空间需求；
- 综合考虑各类设施结构适应性，适应性强的避让适应性弱的。

## 三、成都天府国际机场竖向布局

### （一）地下竖向布局

- 大铁时速350公里/小时，对结构稳定性和基础沉降有很高要求，对周边其他结构扰动影响较大，故布置在最底层，约-25米；
- APM线路适应性优于地铁，设在交通中心下，穿地铁结构，约-15米-17米；
- 地铁设计时速140公里/小时，设于地下负一层，约-10米；
- 其他设施：穿场隧道设于地铁外侧，共墙设置；停车楼5层，地下2层，地面3层，最底层标高约-8米；行李管廊和综合管廊结构适应性很强，线路走向和标高灵活处理。

### （二）地面竖向布局

地面建筑主要有航站楼、酒店、停车楼、换乘大厅、长短途大巴、客运中心，地面道路

系统可以快速通达各个区域。

### （三）地上竖向布局

●GTC交通中心约10万平方米，可换乘地铁、大铁、短途大巴、长途大巴、出租车等各类公共交通，8米层与T1、T2航站楼相连，并配置商业实施，可直接进入到达层和出发层；

●环绕航站楼外侧为站前高架系统，通过高架系统车道边划分和匝道转换实现T1、T2航站楼客流分区疏散，客流之间干扰降至最低，满足单元式航站楼快速交通联系；

●停车楼建筑面积约17万平方米，约3400个车位，车位不足时可用工作区远端停车场补充。5星级酒店位于航站楼南侧指廊之间，俯瞰航站楼核心区和飞行区。

该方案统筹考虑枢纽地上和地下空间科学利用，通过集约型高强度开发，构建城市公共基础设施空间。

## 四、集约型竖向规划布局的问题及对策

成都天府国际机场规划和建设中遇到三个问题：

### （一）节点—城市—区域协调构建

与城市规划协调是各类大型工程建设所面临的共性问题。高强度、立体化开发综合交通枢纽，需要服从整个城市经济社会发展需求，要与城市、区域规划相协调。

针对此问题，一是综合考虑城市功能、用地条件和交通组织等因素，适度超前，尽量做到项目内各主体工程从规划、建设、运营等方面大范围统一协调；二是坚持规划预见性、科学性、严肃性，避免规划与建设脱节，避免工程浪费。在四川省政府统筹协调下，成都天府国际机场实施大范围、多层次规划协调得以顺利实施，2014年批复《成都天府国际机场场外综合交通规划（2014-2040）》，相关项目分别纳入国家《中长期铁路运输规划》、《四川省高速公路网规划》、《成都市城市快速轨道交通

通线网规划》、《高新东区城市总体规划》，在规划层面做到了节点、城市、区域协调构建。

## （二）多个主体如何化分力为合力

综合交通枢纽涉及多个行业主管部门和项目建设单位，行政审批和管理模式存在很大差异。如何将各个分力转化为合力，是大型国际航空枢纽竖向综合开发所面临的难题。

成都天府国际机场的经验是：一是由地方政府牵头，提前梳理谋划，明确职能分工，减少交叉管理重复部位和空白区；二是可针对大型综合交通枢纽建设出台管理标准，系统提供行政支撑和技术支撑。

## （三）多式联运充分考虑运营协同

国际航空枢纽的机场管理机构关注的核心是提高航空旅客服务水平，这是以国际机场为核心的综合交通枢纽建设最重要问题。我国多式联运管理尚处于探索阶段，整体运行质量和服务水平较低。成都天府国际机场在规划和建设中持续摸索，认为最大难点是各种交通运输方式在政策、标准等方面的应用性，例如航空运输、轨道交通、铁路交通等安检互信等级匹配，民航系统与铁路系统联程运输交叉管理，航空运输、城市轨道、高速铁路多式联运票务系统和运行业监管等，都需要加快构建统一的系统网络。

以大型国际机场为核心的综合交通枢纽规划及其集约竖向规划，是国际航空枢纽建设必经之路和长远课题。我们认为，应当贯彻“政府牵头、企业组织、专家领衔、公众参与、科学决策”规划理念，通过多式交通统筹规划，为扩大国际航空枢纽辐射范围奠定良好基础。要以改善各类旅客出行体验为重点，充分考虑不同旅客出行需求，妥善协

调不同利益群体诉求，广泛采用新技术，打通各类交通方式之间的体制、资源、标准障碍，最大限度降低各类交通设施之间冲突。

（作者系四川天府国际机场建设指挥部规划设计部副总经理，四川天府国际机场建设指挥部规划设计部助理）

# 绿色机场与能源管控平台建设

林宾

西安咸阳国际机场绿色机场建设始于三期扩建工程。之前，我们学习借鉴国内外众多实践经验，深刻剖析绿色机场理念，确定了西安咸阳国际机场绿色建设目标和指标。

## 一、确定建设目标

作为改扩建枢纽机场，西安咸阳国际机场综合国内外绿色机场相关理念及关键要素，依据本场发展定位和地域特点，立足三期扩建工程，明晰了绿色建设思路，提出了绿色建设目标，即以人与自然和谐共处为原则，在枢纽机场全生命周期内，高效率利用资源，低限度影响环境，建设健康舒适的航空出行环境和无害、顺畅的生产运行环境，实现低碳减排、节能降耗、环境友好的可持续发展。

## 二、构建指标体系

西安咸阳国际机场把指标体系作为绿色机场顶层设计重要内容，依据绿色机场建设目标，整合提炼复杂的绿色理念，构建完整的绿色机场指标体系，为全专业、全区域、全过程的绿色机场顶层控制提供具有可操作的依据，指导绿色机场建设与管理。

### （一）提炼绿色机场建设基本要素

我们依据绿色发展内涵衍生出绿色机场建设五个要素，即资源节约、低碳减排、环境友好、运行高效、以人文本。建设重点聚焦在少用、少排、无害、生产和服务五个方面。

### （二）构建绿色机场分级指标

秉持可操作性、相融性、可计量性、动态性四个原则，紧密围绕旅客与航空器这两个中心，从空间区域分解和全生命期管控两个维度分解落位指标。最终在5个一级内涵要素基础上，形成了土地资源集约利用、低碳建设等14个二级目标和能源结构优化、绿色建筑等23项三级框架。针对飞行区、航站区、工作区、货运区、能源动力5个功能区管理，形成74项四级指标，114项分解指标。

### （三）指标体系动态调整

我们根据设计进度，每半年调整一次绿色机场框架指标体系，旨在达到“全面囊括、系统梳理、具象表征、实际反馈”的总体要求。

## 三、分类组织实施

西安咸阳国际机场在深化绿色建筑方案、综合利用能源、海绵机场建设、利用非传统水资源、保护生态环境等专项研究及设计落位工作，同步开展绿色机场成果转化，完成绿色机场设计任务书，持续开展绿色建筑设计三星标识认证为核心的航站楼方案优化与设计落地工作。

从重效果、重措施出发，按照分专业规划、分区域落实，分阶段实施的思路，逐步实现设计落位及专项研究成果转化，落位各项指标要求。分专业规划包括可再生能源利用、节能减排、海绵机场等内容。分区域落实聚焦以

航站楼和GTC为核心的绿色建筑三星级认证，以及工作区、能源中心等不同区域绿色建筑二星或三星认证。分阶段实施是从设计、施工、运营管理等环节，通过设计任务书、方案优化、运营使用手册等方法，实现成果转化落地。

#### 四、能源管控平台建设和升级

智慧能源管控作为绿色机场建筑的重要内容，早在2007年二期扩建时就已经开始，除了采用清洁能源、建筑节能设计和引入冰蓄冷结合地板辐射供冷供热、温湿度独立控制等新技术外，我们还在能源管理体系方面进行了优化，主要做了两方面工作：

##### (一) 优化组织管理

成立能源管理中心，改变分散式板块化的传统管理模式，实现能源系统化管理。通过统一预算编制、分区设置能耗指标、制定最优运行策略、集中运行评价分析，制定落实节能措施和开展绩效考核，实现了节能减排目标。

##### (二) 优化信息平台

除了建设各种能源生产自控和航站楼楼宇自控系统，我们尝试建设能源管理信息平台，2017年能源管理信息平台再次升级，主要实现以下几个功能：

###### 1、提高自动化水平

通过对接自控系统，采集信息点位超过20000点，接入各类计量表具约3000块，实现能源计量数据自动采集，能源报表自动生成，大大降低了人工抄表和手工报表工作量，提高自动化水平和工作效率。

###### 2、提升管理精细化水平

我们建立了资产结构树，梳理能源表具层级关系，完善基础能源管理功能，建立能源报表子系统、资产管理子系统、统计分析子系统、报警管理子系统等，提升能源管理精细化水平。

##### 3、提升动态监控能力

通过15分钟抄录一次的高采集频率，提高动态集中监视能力和能耗数据实时性，为制定节能策略提供数据基础，实现对能源设备、能源消耗、能源计划、能源平衡、能源KPI、能源预测等方面实时管理和优化。

##### 4、实现能源管理实时数据发布

实现多维度、可视化的综合展示功能，建立权威的能源管理数据发布平台。用户可以按照日月年不同的时间维度随时随地查阅本单位能耗信息和运行数据。

通过一系列能源管控措施及能源管控平台运营，西安咸阳国际机场航站楼节能成效显著。根据民用机场航站楼能效测试对比发现，T3综合能耗强度、电耗强度、单位面积年耗冷量、单位面积年供冷空调末端能耗等多项指标优于引导值。

我们在运行管理中发现，分布式能源种类越多，能源耦合关系越复杂，运行管控难度越大，往往达不到预期效果。二期能源管控平台虽然在能源管理方面发挥了很大作用，但是限于当时管理模式、原有各子系统控制模式、设备智能化控制水平、投资强度和改造难度等因素，能源管控平台离智慧能源仍有一定距离。

西安咸阳国际机场三期库检工程中，机场建设指挥部成立了能源专项研究组，按照“安全可靠、经济可行、多能互补、绿色环保”原则，开展三期能源系统自主研发。经多轮研究论证，最终形成了供热以大唐热电厂余热+新建天然气锅炉为主的方案，同步开发冷热电三联供、地热能、风冷热泵等多种分布式能源、和多能互补为辅的方案。重点深化了能源管理体系化建设，在应用新技术构建绿色、高效能源系统的同时，推行能源系统化运行管理和集中调度指挥，利用大数据、云计算、物联网、移动互联网、人工智能等新技术，围绕“联合运控、联合运维、多能互补、绿色智能”的

主旨，尝试建立一个全局性能源智能管控系统，覆盖能源生产—转换—存储—配送—消费—结算—考评全领域，实现有效调整和平衡能源供需结构，推动节能减排，降低能源消耗，提高能源利用效率和管理水平。

能源系统化运行管理和集中调度指挥要有可靠的技术支撑，目前行业内还无先例。为了给三期智慧能源管控探索新路，我们已开展试点，针对T3航站楼暖通系统和4号能源站之间存在的供需不匹配问题，按照智慧能源一体化管控建设原则，提出了整体协调控制方案，建设T3航站楼和4号能源站的协调控制系统，以求达到协同贯通的效果，形成协同指挥体系，实时互动提升系统运行管控能力，为三期扩建工程智慧能源系统运行提供有利支撑。目前该系统已初步完成升级改造，正在进行调试，预计2018年制冷季可以投入使用。

智慧能源管控系统是绿色机场建设的关

键。绿色机场的能源指标体系需要通过管控平台得到有效反馈，如何做到实实在在的“既监又控、智能控制”，而非“只监不控”，始终是我们思考与探索的核心课题。

总之，能源管控平台是以多能互补技术为落脚点，基于“能源互联网”理念建设全新的综合能源运行调控系统，提高能源使用效率，达到绿色机场、智慧机场的建设目标。

经过多年建设与管控探索，我们看到绿色机场建设是一项长期而又艰巨的任务，需要从上到下统一认识，准确定位绿色机场目标，制定绿色机场指标体系和规划，优先选择清洁能源，深度谋划能源系统化运行管控系统建设。

（作者系西部机场集团副总经理）

# 成都天府国际机场绿色建设实践

杨剑 邹博宇

成都是连接西南西北，沟通中亚、南亚、东南亚重要交通走廊，是内陆开放前沿和西部大开发战略依托。成都天府国际机场位于成渝经济区核心位置，其建成后成都将成为继上海、北京之后第三个“一市两场”的城市，对助力四川加快融入全球经济版图，加快区域经济发展，驱动成渝经济区、天府新区和再造“产业成都”都具有重要战略支撑意义。

成都天府国际机场本期规划用地约21平方公里，建设“两纵一横”3条跑道，单元式航站楼约62万平方米；到2025年，满足年旅客吞吐量4000万人次，货邮吞吐量70万吨，飞机起降32万架次发展需求。远期规划用地约52平方公里，建设“四纵两横”6条跑道，单元式航站楼约120万平方米；到2045年，满足年旅客吞吐量9000万人次，货邮吞吐量200万吨，飞机起降71万架次发展需求。

成都天府国际机场规划、建设贯穿“生态”和“环境”主题，牢牢把握“资源节约、环境友好、运行高效、以人为本”四个基本内涵，依据地形、气候、水文、能源等环境要素，因地制宜建设绿色机场。

成都天府国际机场绿色建设目标：在机场全寿命期中，实现经济效益、环境效益和社会效益最优化，建设“平安、智慧、绿色、人文”的大型国际航空枢纽。依据这一目标，成都天府国际机场构建了比较完整的绿色建设要点，从节地、节能、节水、节材等12个方面入手实践绿色机场建设。

## 一、绿色建筑

### (一) 绿色建筑设计

在航站楼设计中，我们对自然通风、围护保温隔热性能、自然采光+人工照明+空调能耗耦合分析、声学设计、清洁能源与可再生能源利用、雨水规划、碳排放计算和BIM技术应用等方面做了深入专题研究，采用一系列节能环保技术，实现了绿色节能技术集成应用。

### (二) 绿色建筑标准

全场100%执行绿色建筑标准，航站楼、GTC及工作区主要办公设施均达到绿色建筑三星标准，全场绿色三星建筑比例85%。大规模应用装配式建筑，工作区、货运区主要建筑预制装配率超过30%。

### (三) 绿色建筑材料和技术

统一选用高耐久性混凝土、高反射涂料、三银充氩气玻璃、一级节水器具等绿色建筑材料；统一采用雨水调蓄设施、非传统水源利用、透水铺装、屋顶和复层绿化室内空气处理、空气质量监控系统等绿色建筑技术。

## 二、绿色交通

综合交通规划将高铁、城铁、地铁、长途大巴等多种交通方式融入航站区，实现多种公共交通施高度复合，垂直叠合于综合交通换乘中心（GTC），实现旅客零距离换乘。引入无人驾驶智能小车系统（PRT），用以连接工作区与

航站区；建设旅客捷运系统（APM），连接近远期4座单元式航站楼。两个系统均采用轨道交通行业最高级别L4级无人驾驶技术，无人值守，无人驾驶，整个系统运行只需1-2人监控。

### 三、绿色能源

基于低碳机场建设目标，成都天府国际机场以“低碳环保、经济适用”为原则，结合水电排放优势开展能源规划。四川省电网平均CO<sub>2</sub>排放因子仅0.29，为此优先利用水电，合理利用可再生能源，有效减少运行排放。在智慧能源系统建设方面，实现了能源分项三级计量，对空调能耗、燃气消耗、环境参数等进行全面监视，与BA系统、电力监控系统、智能灯控系统、航班信息显示系统联动运行，为能源精细化管理奠定基础。在用能设备与技术方面，优先选用节能环保设备和技术。

#### （一）清洁能源利用

##### ●清洁能源车及充电设施规划

充分利用四川水电优势，因地制宜建设低碳机场。根据国务院《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020年）》、国务院办公厅《关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见》相关要求，成都天府国际机场在设计中大量采用清洁能源车。空侧通用车辆清洁能源车达到100%，特种车辆采用清洁能源车达到70%。委托专业机构对全场充电设施进行统筹规划，空侧充电基础设施按照车桩比不高于4:1原则配置，陆侧办公区按照不低于25%停车位比例配置。到规划终期2025年将设置2374台充电桩，其中空侧532台充电桩，陆侧1842台。

##### ●飞行区地面电源和空调设备规划

遵循《民航贯彻落实〈打赢蓝天保卫战三年行动计划〉工作方案》要求，飞行区采用多功能联合供电系统为飞机提供电源和空调设备，实现飞机大幅关停APU，确保登机桥等重要设施不

间断供电，增加绿色能源供给，减少空侧飞机排放，改善空侧空气质量。

#### （二）可再生能源利用

遵循可持续发展原则，充分开发利用可再生能源，包括：

- 采用空气源热泵技术，开发利用空气热能，主要用于综合换乘中心、停车楼等建筑采暖；
- 结合当地日照条件，在综合换乘中心应用光伏发电技术，减少二次能源依赖；
- 广泛采用太阳能光热技术，达到节能高效、低碳环保效果。

#### （三）智慧能源管理系统

为了优化能源结构，降低能源使用强度和排放强度，实现低碳运行，我们将采用基于多能互补技术的新一代综合能源系统和基于能源互联网理念的能源运营支撑系统，建设全新的综合能源运行调控系统，实现“电、冷、热、水”等多种能源产品终端消费一站式集中供应，覆盖能源生产、存储、配送、消费全过程的区域能源综合运营管理，提高区域能源使用效率，实现绿色、智慧机场建设目标。

### 四、绿色海绵花园

成都天府国际机场借鉴“海绵城市”规划理念与方法，建设具有地域特色海绵机场。

#### （一）水资源综合利用

因地制宜使用渗、滞、蓄、净、用、排等多种生态技术取代传统雨水收集设施，适当保留场内水域和植被，雨水花园、绿色屋顶、湖泊水塘等生态环境多样呈现。结合排水系统设计构建景观带，东一路综合管廊下雨水调蓄舱是莲花水库的“肾脏”，肩负着过滤、更新水源的重任，促进建筑群落与自然和谐共生。

#### （二）提高年径流总量控制率

成都天府国际机场年径流总量控制率达到

80%，有效调蓄容积约10万立方米。设计指标分解落实到各个功能区，譬如：办公区年径流总量控制率不低于85%；商业和市政设施、停车场等区域年径流总量控制率不低于80%；货运区、维修区年径流总量控制率不低于70%。

### （三）新理念下的生态水系

充分应用低影响开发技术，结合生态景观设计，兼顾控流与美观，综合采用绿色屋顶、植草沟、雨水花园、生态湿地及缓冲带等生态措施，建设可持续的雨洪控制和利用系统。全场采用新型雨水口进行初期雨水净化，各类生产配套工程采用水力颗粒分离器进行初期雨水净化，通过构建雨水湿地、湖泊和景观渠道等生态水系，形成特色海绵机场。

### （四）靓丽花园

成都天府国际机场景观建设集中体现川蜀大地自然与人文特色。由空港大道中轴导入，两侧公园与工作区绿地交相呼应，层层递进，在航站区形成景观核心，重点建设莲花水库绿化带。

## 五、污水处理

零排放污水处理是建设绿色机场重要内容。本期设计处理量1.4万吨/天。采用“地下全埋式”污水处理设计，处理构筑物布设地下，污水处理全封闭，厂区无异味。地面为绿化带和园林建筑，植被景观与污水处理构筑物融为一体。占地29069平方米，为传统工艺10%。出厂水质符合国家中水水质标准，用于绿化灌溉及莲花水库补给用水。

## 六、绿色施工

### （一）施工环境保护

成都天府国际机场高度重视施工环境保护，构建完善的环保水保管理体系，出台环保水保管理制度。针对噪声影响、大气污染、生态环境、地表水环境、地下水环境等提出多项保护措施。对全场耕地、林地、园地、草地等

表土分层剥离，分类集中堆放，采取拦挡、苫盖、植草、洒水降尘以及设置临时排水沟、沉沙池、沉淀池等水土保持措施。施工结束后全部用于回填绿化，全场不设弃土弃渣、取土取料场。

### （二）绿色施工数字化

积极采用绿色施工新工艺、新技术，编制《成都天府国际机场绿色施工指南》，应用全场数字化施工监控和管理技术，对施工全程录像存储，可随时调用全天候、全工况的视频监控，绿色施工管理更加高效有序。

## 七、绿色出行

各种节能环保设计和智慧科技手段，最终都要回归运输机场本职功能：为旅客提供便捷、人性化的航空出行服务。成都天府国际机场运用云计算、大数据、物联网、生物识别等新技术，建立基于全面感知的旅客信息服务系统，为旅客提供主动服务；优化值机、安检、联检、中转等流程，减少楼层转换；合理设置近机位，近机位数量满足运行周转需要，有效减少步行距离，采用APM和PRT系统，为旅客提供场内交通便捷、人性化的服务体验；智能化行李传输系统实现行李分拣运输精准、快速，首件行李到达10-16分钟；根据旅客出行习惯分析，提供各类自助服务设施。

在文化体验方面，将蜀风雅运充分融入场区文化环境设计，形成楼内八景，展现美食、熊猫、金沙文化等地方特色元素，充分感受中国文化、四川文化、成都文化。

绿色发展是民航强国重要标志。在成都天府国际机场规划、建设、运行全寿命期内，要继续探索绿色建设新方法、新途径和新技术，不断提升“平安、人文、智慧、绿色”四型机场建设水平。

（作者系天府国际机场建设指挥部配套工程部总经理，天府国际机场建设指挥部规划设计部助理）

# 绿色机场建设从源头开始

曾伟

民用机场作为国家综合交通运输体系重要的公共基础设施，其规划、建设、发展绿色化日益受到社会关注。2017年8月29日，重庆江北国际机场东航站区及第三跑道扩建工程投入使用，这是重庆航空公共基础设施发展史上规模最大的一次建设，也是社会总体评价较好的建设项目。

## 一、建设规划及发展概况

### (一) 总体定位

重庆江北国际机场是《全国民用运输机场布局规划》规划的十大国际航空枢纽之一。作为国际航空枢纽，其发展定位要服务于重庆市发展定位核心内容，即：

- 重庆市发展“两点”定位：形成西部大开发重要战略支点，“一带一路”和长江经济带联结点；

- 重庆市发展“两地”目标：建设内陆开放高地，山清水秀美丽之地；

根据重庆市发展规划定位和目标，重庆江北国际机场发展定位是：建设以向西、向南空中通道为核心、联接“两点”、服务“两地”的现代化国际航空枢纽。

### (二) 总体规划

根据重庆江北国际机场2011版总体规划，规划总面积36.7平方公里，总体布局为“南客北货”，终端规划4条两组远距离跑道，航站楼100万平方米，货运库房40万平方米，设计保障

能力年旅客吞吐量7000万人次，货邮吞吐量300万吨，飞机起降55.1万架次。

### (三) 发展战略

重庆江北国际机场确立了品质化发展战略，全面推进“枢纽机场、智慧机场、靓丽机场”建设，“十三五”期间，旅客吞吐量超过5000万人次，货邮吞吐量达到50万吨，国际和地区航线超过100条。

### (四) 基础设施

东航站区及第三跑道扩建工程投入使用后，航站楼74万平方米，停机位178个，货运库房25万平方米，综合交通换乘基础设施35万平方米。设计容量以2020年为目标，保障能力为年旅客吞吐量4500万人次，货邮吞吐量110万吨，飞机起降37万架次。

### (五) 运输生产

2017年，重庆江北国际机场旅客吞吐量3871.5万人次，货邮吞吐量36.6万吨，飞机起降28.7万架次。截至2018年10月，开通295条航线，其中国际和地区航线77条，远程国际客运航线63条，国际和地区货运航线14条，“一带一路”航线50条；通航城市184个，初步形成通达世界五大洲的航线网络。

## 二、绿色建设主要做法

重庆江北国际机场东区工程是民航局、重庆市“十二五”、“十三五”重点建设项目，

也是重庆江北国际机场迈向国际航空枢纽的标志性项目。历经5年时间，建成长3800米4F级第三跑道，机坪90万平方米，停机位94个，T3A航站楼53.7万平方米，货运用房15万平方米，综合交通换乘设施35万平方米，东工作区30万平方米，总投资270亿元人民币。

建设绿色机场从“源头”开始、贯彻始终。在工程建设过程中，全体建设者认真贯彻落实“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念，实现了重庆航空基础设施建设一系列突破。主要做法包括8个方面：

#### （一）全程绿色咨询

委托设计院开展全过程绿色咨询服务，做好采光、通风、能耗、噪音等模拟，采取定量分析方法，形成《绿色建筑咨询》、《航站楼采光优化分析》、《幕墙方案优化分析》等专题报告，为航站楼细化设计提供依据，对绿色施工过程中节水、节地、节材、节能、保护环境提出具体要求。

#### （二）坚持集约用地

在满足总体规划前提下，本期扩建工程在规划中充分考虑集约用地、节约资源，将二、三跑道间距定为1620米。在满足行业规范前提下，最大限度节约航站区及飞行区建设用地，将工作区功能相近的建筑，如动力中心、安检、医救、公安、联检、信息等办公用房尽量整合，力求用地集约紧凑和土地资源利用效率最大化，节约土地4.1公顷（61.5亩），为后续发展留足空间。

#### （三）节材贯穿始终

在基础结构选材上，大量采用预应力结构体系、高性能补偿收缩混凝土、高强钢筋等能耗小、污染少、强度高、综合性能好的绿色高性能新材料，简化材料加工工序，减少二次污染。T3A航站楼及综合交通枢纽节约混凝土结构用钢近8000吨，节约投资3500万元。

建筑维护结构节能是建筑节能的基础，维护结构节能是最大节能。T3A航站楼玻璃幕墙大面积采用不锈钢单拉索点驳接形式，约7.5万平米，是目前亚洲最大单体索幕墙体。屋面系统采用四条侧向立式采光天窗，檐口采用阳极氧化铝板，保温性能可靠，既满足采光、排烟、抗风、防水的技术要求，又体现了简洁大气、轻盈通透的设计理念，有利于航站楼自然采光和通风，有效降低太阳热辐射。

#### （四）广泛采用新技术

遵循“绿色、环保、节能”理念，最大范围采用新能源、新技术，T3A航站楼达到重庆市绿色“二星”建筑设计标准：

- 1号能源中心空调冷源采用水蓄冷技术，利用波峰波谷电价差额移峰填谷；3号能源中心采用温湿度独立调节空调，节能优势明显，每年节约电费约500万元。

- 航站楼玻璃幕墙选用双银Low-e中空玻璃，昼间采光充足，太阳热能辐射较少，保温隔热节能效果较好，比单银Low-e玻璃节能20%~30%，减少光污染。

- 大空间选择直接+间接照明方式，相对间接照明节省建设成本近50%，降低运行成本80%；大量自然采光结合LED灯具、非晶合金变压器等新能源设备，降低用电消耗50%。

- 利用能源管理系统、智能集成系统、楼宇控制系统、变电站电力控制系统、大空间智能照明控制系统、路灯智能监控系统等新技术，实现节能指标可视化、智能化和精细化管理，确保高效节能。

#### （五）降低污排放

污水处理站采用先进的MBR污水处理（膜处理）工艺，污水处理后达到国家一级A排放标准，中水回用于绿化浇灌和道路冲洗，减少污染物排放，节约水资源。年降低排污费、水费两项成本600万元以上。采用先进污泥处理技术，将其转化为可利用有机肥料，实现污泥排

放无害化、减量化和资源化。

#### (六) 加大智慧建设投入

全面实施创新驱动发展战略，制定1-2-3-8-2智慧机场2.0发展框架。东区扩建工程将大数据、云计算、物联网、人工智能等先进技术与安全、服务、运行、管理相融合，建设统一开放的大数据平台、A-CDM协同决策系统、兼容RFID和传统条码行李处理识别系统、旅客全流程自助服务信息系统、停车楼反向寻车系统、楼宇自控系统等30多项弱电信息系统，提升了智能化保障水平。2018年8月，中国民用机场协会、民航局运行监控中心专家组分别从数据共享、基础功能、系统辅助决策应用、前瞻规划四个方面对A-CDM系统建设和运行效果评估，评定等级为A，获得专家组一致好评。

#### (七) 建设便利换乘设施体系

●乘机便捷：T3A航站楼采用“H”构型，近机位比例超过80%，旅客过检到登机口平均步行距离400米。

●多式换乘便捷：建设集城际铁路、轨道交通、地面交通于一体的综合交通体系，实现了航空运输与其他交通方式无缝衔接。

●场外交通便捷：形成一条城铁、两条轨道、三横四纵高速公路等10条场外交通设施，构建了内畅外联交通网络。本期轨道交通按照“双岛四线”设计，远期可再接入两条轨道线路。

#### (八) 提升园林绿化

成都天府国际机场致力于“生态机场、山水机场、园林机场”建设。依山就势，采用台阶式布置园林绿化，沿进场路高架桥两侧布置80米景观绿化带；综合交通枢纽屋顶种植4.3万平方米空中绿色植物，减少热岛效应；机场绿化覆盖面积超过160万平方米；建设调蓄防洪与自然景观兼具的景观湖，为旅客提供健康、舒适的环境，建设生态良好、景观优美、与自然

和谐共生的园林机场和海绵机场。

上述8个方面，是重庆江北国际机场建设绿色机场主要做法。本次工程符合未来绿色发展趋势，提升了重庆航空公共基础设施发展水平，扮靓了西部城市开放发展的形象。

前一轮扩建工程刚刚落幕，新一轮扩建工程又启动筹备。重庆江北国际机场正按照国家发改委、交通运输部关于《交通基础设施重大工程建设三年行动计划》（2016-2018年）部署和重庆市政府要求，开展下一期扩建前期工作：新建第四跑道3400米，停机位123个，T3B航站楼35万平方米和旅客捷运系统等项目，计划于2020年开工。

建筑是遗憾的艺术，最好的作品永远是下一个。

（作者系重庆江北国际机场扩建指挥部常务副指挥长）

# 中小机场与A-CDM系统

林伟文

惠州机场始建于20世纪50年代，1985—2002年开通定期航班，2002年因国家政策停航，2015年2月复航。复航首年，旅客吞吐量55万人次，增长48%；2017年96万人次，增长75%；2018年180万人次，增长114.8%，年均增长超过50%，发展速度之快在国内中小机场发展史上罕见。

快速发展中，“成长的烦恼”随之而来：空域、时刻、机位等资源矛盾开始凸显。为了突破瓶颈，建立满足机场高效运行需求的信息系统，借助信息技术提升管理水平和运行效率，从资源驱动向效率驱动转变，成为高质量发展必然选择。由此，构建一套智能化协同决策系统的想法应运而生。在充分调研和周密规划之后，“惠常准”A-CDM协同决策系统建设拉开序幕。

惠州机场作为全国最早推广A-CDM系统的中小机场，主要考虑三个方面：

一要理念先进，可拓展能力强。传统集成系统一次性投入大，功能拓展能力弱，随着业务发展，功能模块难以适应新发展需要，造成极大浪费。中小机场既要考虑现实需求，又要兼顾可持续拓展。

二要数据搜集分析能力强。中小机场在与航空公司、空管部门协作中，往往由于航班动态信息、航班保障信息数据收集和加工能力弱，数据准确性和及时性无法支撑协同决策需求，提升数据收集处理能力是一个难题，该系统应当弥补这一短板。

三要性价比高，满足安全裕度和运行效率两方面需求。充分利用最前沿的“黑科技”，在不增加投入前提下，使有限资源得到最大化利用。

惠州机场A-CDM系统从确定方案到试运行仅用两个月时间。2016年12月，惠州机场与飞友科技联合研发的“惠常准”A-CDM机场协同决策系统上线试运行。

惠州机场A-CDM协同决策系统把机场运行紧密融入区域航空网络，提供空地协同业务平台。通过建立作业流管理模型，将航班保障与旅客服务分解为相互关联40多个分级管控节点和里程碑节点，建立保障新标准，纳入系统平台集中管理，补齐和加固了空地运行信息和航班保障作业链条，从三个方面提升空地资源利用效率和综合保障能力：

## （一）数据整合

通过对机场数据整合实现保障运行节点信息的感知、收集和整合；通过对协作单位数据整合实现机场、航空公司、空管之间的数据共享，消除信息孤岛，为协同决策提供信息基础。

## （二）数据分析

利用数据分析技术对航班运行保障各个作业环节、保障现场各种资源利用情况、前后站航班运行情况、空管指挥等动态信息进行全面分析，大大加强航班保障各环节时间节点可预测性，为协同决策提供数据支撑。

### （三）辅助决策和流程管控

基于高度整合的数据和可信赖的时间节点预测，利用辅助决策工具进一步提高协同决策质量和效率；通过有效的流程管控手段，提高决策执行效率，促进各作业部门及岗位高效配合，确保各环节保障进度，实现空地保障能力大幅提升。

以A-CDM为核心的信息化建设是提高中小机场地面运行效率有效途径。A-CDM系统是协同运行核心平台，实现了单个航班保障40多个节点、上千条数据引入，整合了生产链各类信息，确保了A-CDM系统数据完备性和实时性，对于资源整合、机坪监控、精准保障等方面大有裨益，有利于在航班运行中发挥以机场为主导的协同联动机制，也为加快和深化新技术应用奠定了坚实基础。不难看出：A-CDM建设体现的是数据整合思想，落实是协同融合理念，是创新时代大数据应用的有效实践。

惠州机场A-CDM协同决策系统促进航班正常水平稳步提升的目标在实践中得到检验，最新统计的国内机场航班准点率榜单中，惠州机场航班放行正常率在90%以上，跃居中小机场第1位，同比大幅提高。

惠州机场A-CDM管控架构和协同机制，有效提升了运行保障水平，促进整体运行品质明显提升，运行组织和保障能力上了新台阶，形成中小机场协同运行新模式，并在不断探索和实践中使其愈加丰富和成熟。2016年“惠常准”上线以来，初步实现了A-CDM与生产运行有机结合。通过两年多稳定运行和不断改进，“惠常准”A-CDM系统得到各有关保障部门认可。

惠州机场A-CDM协同决策系统走在基础设施大规模扩建和航空业务量更大规模发展之前，这是一个具有战略意义的前瞻性举措。按照广东省政府关于建设“5+4”运输机场格局部署，惠州机场定位于珠三角5个运输机场之一，由此确立了“安全发展、真情服务、科技优先、智

慧升级”的发展战略。2018年10月30日，惠州机场扩建航站楼及配套工程开工，计划于2019年投入使用。新航站楼可满足年旅客吞吐量500万人次发展需求。预测到2022年，惠州机场旅客吞吐量将达到500万人次。

（作者系广东机场集团惠州机场公司纪委书记、副总经理）

# 磁悬浮中央空调解决方案

段永祥

中国民航正处于贯彻落实《民航贯彻落实<打赢蓝天保卫战三年行动计划>工作方案》关键时期，民用机场履行生态环保职责，加快推进绿色发展需求旺盛。磁悬浮中央空调是运输机场减少噪音和排放，明显改善空气质量和工作环境的新技术选择之一。

## 一、国家目标

2018年国务院发布《打赢蓝天保卫战三年行动计划》规定：经过3年努力，大幅减少主要大气污染物排放总量，减少温室气体排放，进一步明显降低细颗粒物（PM2.5）浓度，明显减少重污染天数，明显改善环境空气质量，明显增强人民蓝天幸福感；到2020年，二氧化硫、氮氧化物排放总量分别比2015年下降15%以上；PM2.5未达标地级及以上城市浓度比2015年下降18%以上，地级及以上城市空气质量优良天数比率达到80%，重度及以上污染天数比率比2015年下降25%以上；提前完成“十三五”目标任务的省份，要保持和巩固改善成果；尚未完成的，要确保全面实现“十三五”约束性目标；北京市环境空气质量改善目标应在“十三五”目标基础上进一步提高。

作为占运输机场航站楼耗能50-60%的用电设备，中央空调行业正进行一场全面节能降耗新技术革新，磁悬浮离心机成为行业发展的必然选择。

## 二、运输机场能耗特点

运输机场能耗大主要有三个原因：

### （一）建筑空间

单体建筑面积大，高大空间多，冷量损失大，空气湿度大，人员密集，对空气品质要求高；

### （二）峰谷明显

淡旺季及早中晚高峰明显，负荷变化大，使用时间长；

### （三）管控困难

设备众多，能耗管理和控制难点多。

## 三、磁悬浮离心机解决方案

由于传统市场守成、外国技术封锁和研发投入大、收益周期长等经济门槛，曾使中国磁悬浮中央空调举步维艰，国内用户参与热情普遍不高。2006年，随着国产品牌磁悬浮中央空调技术日益成熟，僵局逐渐打破，国产磁悬浮中央空调节能50%、0振动、70分贝静音、30年超长寿命等技术优势，促成我国中央空调企业对磁悬浮离心机开发应用。

针对运输机场能耗特点和管理痛点，迫切需要能够满足以多需求的全程节能整体解决方案，包括：

### （一）方案节能

温度湿度独立控制，集成控制管理系统；水系统群控、多种空调整体控制；

### （二）设备节能

高效制冷机、水泵、风机、空调末端；

### (三) 管理节能

建立能源管理系统，变管理行为节能为自动节能，包括智慧云服务系统：远程监控、故障预警、节能优化。

### (四) 磁悬浮中央空调系统优点

一是安全稳定：运行安全，系统稳定，故障率低。二是冷暖效果好，设计合理，兼顾新风、除湿等功能，满足运输机场航站楼大空间需求。三是高效节能，运营优化。四是智能预警：故障预警，智能维保。

## 三、磁悬浮离心机特点

### (一) 磁悬浮

压缩机具有磁性轴承，运转时受磁力作用，轴与轴承无接触转动，双级铸铝叶轮直接嵌于轴上，减小了由于齿轮传动产生的能量损失。压缩机马达为永磁同步马达，由PWM（脉冲宽度调制）电压供电，可以实现变速运行；压缩机入口装有导流叶片，用以调节压缩机负载。

磁轴承和定位传感器，由两个径向轴承和一个轴向轴承组成数控磁轴承系统，由永久磁铁和电磁铁组成。压缩机运动部件——动子转轴和叶轮，悬浮在磁衬上无摩擦运动，磁轴承上定位传感器为电机转子提供每分钟高达600万次实时重新定位，以确保精确。

永磁马达和降落轴承，由PWM（脉冲宽度调制）电压供电的永磁同步马达可以实现高速变频运行。降落轴承在机组启动前升起，自动调节间距保证无摩擦。压缩机备碳衬里径向/轴向轴承用来支持断电后压缩机转轴，防止转轴与其他金属表面接触。

变速驱动离心压缩，变速离心压缩机使用集成变速驱动的高速、两级压缩，其公认的节能特性正被引入主流市场。

内置数字电子设备前瞻性地监控压缩机运行，并为外围控制与网络监控全面提供关于机组性能与可靠性的信息。另外，内置数字电子

控制设备还可提供以前机组或屋顶机组电控面板的控制功能，节省设备成本。

### (二) 超低噪音

完全无摩擦运转，运转噪音低于70分贝，几乎没有结构性震动，无需昂贵减震元件，降低用户投资成本。采用最安静压缩机和最优结构设计的完美系统解决方案，满负荷安静，部分负荷更安静。

### (三) 寿命长

使用航空等级铝制铸件及高强度热塑电子外壳制成的压缩机可不知疲倦地长期高效运行，由于系统没有油，没有任何摩擦，所以系统不会衰减，压缩机使用寿命30年。

### (四) 无油

磁悬浮离心式压缩机运动部件（转轴和叶轮）是通过一个有两根径向磁性轴承和一根轴向磁性轴承所组成的数控磁性轴承系统，使压缩机运行处于悬浮状态，运动部件实现无油润滑。系统无需润滑油，避免了壳管式换热器中油膜覆盖在换热管上导致换热效率下降的影响，保证产品在整个使用寿命周期内具有持续优越性能。

近年，中国磁悬浮中央空调技术取得了长足进步。2017年中国制冷设备展上，超过30家厂商加入磁悬浮大潮。据估计，到2019年底，磁悬浮离心机组在离心机市场占有率达到40%，整体经济规模达到40亿元。未来几年，磁悬浮离心机组都将保持60%左右高增速。特别是对空调需求大、安全稳定要求高的运输机场航站楼等大体量、大空间建筑，将迎来磁悬浮中央空调时代。

（作者系中国航材集团能源管理有限责任公司技术总监）

# 民用机场新技术应用考察报告

陈颖 朱麟

2018年11月28-30日，中国民用机场协会环境保护专业委员会组织部分会员机场前往青岛胶东国际机场、青岛港集团有限公司、威海广泰空港设备股份有限公司学习考察，重点围绕大气治理、水质保护、节能降耗等新技术应用探讨交流。基本情况如下：

## 一、青岛胶东国际机场考察情况

青岛胶东国际机场位于青岛市所辖胶州市东北11公里，2011年被纳入我国国民经济“十二五”发展规划纲要、全国综合交通运输体系规划、全国民用机场布局规划、中国民航“十二五”发展规划。2015年开工建设，预计2019年竣工验收。一期建设2条平行远距跑道；1座航站楼，可满足年旅客吞吐量3500万人次、货邮吞吐量50万吨、飞机起降30万架次发展需求。远期以2045年为目标年，将再建设2条近距跑道，2座航站楼，满足年旅客吞吐量6000万人次、货邮吞吐量100万吨、飞机起降45万架次发展需求。该运输机场在绿色建设方面有两个特色项目：

### （一）独立能源中心

该机场在航站楼西南侧规划建设了一座能源中心，总建筑面积1.76万平米，上下5层，为机场运营提供能源。该中心凝结了清洁能源供能技术、能源互联网、区域综合供能服务等多种先进理念和技术方案，采用分布式能源——冷热电三联供技术，以天然气燃烧做功产生高品位电能，将发电设备排放的低品位热能充分

用于供热和制冷，实现能量梯级利用，并通过分区建设能源站实现区域能源互通、平抑负荷峰值等综合效果，引导各用能环节对常规能源、可再生能源和新能源进行安全、合理、高效的利用，最大限度降低碳排放，有效助推绿色发展。

### （二）建设海绵机场

该机场按照“五位一体”战略部署，依据海绵城市建设理念，确立了建设全国首个“海绵机场”行业典范目标，旨在通过“源头滞蓄减排+过程绿色管控+末端生态调蓄入渗”的全体系化绿色雨水管理系统，建设下凹式绿地、透水铺装、生物滞留设施、雨水调蓄池等控制措施，构建水生态、水环境、水安全、水资源等四方面海绵体系，最终达到有效降低外排径流量、控制点源和面源污染等多种效果。该项目结合市政排水设计和建设用地功能区划分，将机场划分为6个汇水分区，对不同功能区域，以低影响发展理念为核心，采用‘渗、滞、蓄、净、用、排’等技术手段实现再生水利用超过50%的目标。

## 二、青岛港集团有限公司考察情况

青岛港集团有限公司是全球领先、亚洲首个全自动化集装箱码头，集规划设计、建设集成、商业运营三位一体，综合采用物联网感知、通信导航、模糊控制、信息网络、大数据云计算和安全防范等先进技术，深度融合了码头操作、设备控制、闸口控制、电子数据交

换、网站预约查询等系统。机械设备实现无人驾驶，集装箱装卸、运输、堆存、收发全过程实现无人作业，开创了港口建设新模式，树立了行业全新标准。

与传统港口相比，作业现场从人员密集变成空无一人，作业指令从人工筹划变成为自动生成，指挥运行从司机驾驶变成自动运行，生产人员从空间作业变成远程监控，安全保障从人工拆装变成自动拆装，彻底颠覆了传统集装箱港口作业模式、管理模式，实现决策智能化、生产流程化、操作自动化、现场无人化、能源绿色化，单机平均作业效率达32自然箱/小时，比全球同类港口单机平均效率高50%，创出单机平均39.74自然箱/小时的全球自动化港口最高效率，开创了低成本、短周期、全智能、高效率、更安全、零排放的智慧港口中国方案。有两点对运输机场建设具有启示意义：

### （一）智能系统

该港采用世界一流全自动化技术设备，自主构建全球领先的智能生产控制系统，自动化鲜明特征贯穿作业全流程。自动生成作业计划，码头操作系统TOS取代繁琐的人工谋划，以集装箱信息自动生成作业计划，调度指派各种设备进入作业序列；智能桥吊自动扫描船舶轮廓生成最佳作业路径；光学识别系统实时获取箱数据取代人工领动；机器人自动完成拆装集装箱连锁作业；激光防撞系统和超声波感知系统构成有序行车轨道，自动完成集装箱水平验收，自动完成对岸提箱；高速轨道吊根据系统下达的任务自动扫描堆场信息、路径，自动完成集装箱堆满、收发作业；自动查验收发信息，并完成放射性检测；自动采集校验车厢信息，实时完成外来拖车取送箱作业。在这个全自动化港口两个泊位作业中，后方生产控制中心9个远程操控员承担了传统港口60多人的工作，减少操作人员85%，提升作业效率30%。

### （二）自动导引车（AGV）

无人驾驶港口导引车是全自动化港口核心技术。通过在港区地面敷设几万个磁钉，借助无线通讯设备、自动调度以及磁钉引导，AGV可在港区精密定位、自动导航、主动避障、穿梭自如，准确到达指定位置。AGV利用智能控制系统，可根据实时交通状况动态产生最优路线。在磁钉引导之外，AGV在行走时会利用软件逻辑防撞系统，在系统中自动申请一个锁闭区，防止其他车再申请和进入这一区域。硬件防撞系统、激光扫描仪检测防撞和接近限位停车防撞为AGV行驶提供三重安全保障。此外，该港口打破世界自动化码头建设传统，首创自动导引车自动循环充电技术，选择具有循环寿命长、耐低温、放电倍率大等属性的钛锂电池方案，实现作业循环过程中自动完成电能补充，把电池重量从13吨减为2吨，循环寿命从2年延长为10年，水平运输系统比国外节省成本2亿多元。

## 三、威海广泰空港设备股份有限公司考察情况

威海广泰空港设备股份有限公司是集空港地面设备、消防装备、消防报警装备、特种车辆、无人飞行器等多种业务于一体的专业化上市公司，也是国家认定的企业技术中心、国家空港地面设备工程技术研究中心和国家地方联合工程实验室，已获577项技术专利。该公司下设空港设备、消防装备、消防警报、军工、国际业务5个事业部，其中空港设备事业部是规模最大、成熟度最高、实力最强的专业板块，已开发37个系列348种型号空港地面设备产品，覆盖民用机场维修、服务和货运、油料加注、场道维护、客舱服务、机场消防六大作业系统，能够为民用机场配齐所有地面设备，部分主导产品国内市场占有率为40%~60%，目前正向产品国际化、设备电动化和绿色空港设备方向努力。

### （一）电动化空港地面设备

该公司已成功开发7种电动化、双动力产

品，包括电动旅客摆渡车、电动式集装货物装载机、电动式飞机牵引车、电动式散装货物装载机、电动式旅客登机梯、电动式飞机清水车、电动式飞机污水车，为黑龙江、山东、福建、广东、四川、河北、浙江、香港、湖南、巴黎等地12个运输机场提供137台套设备。其中，针对不同运输机场工况，研发了适合呼和浩特机场运行的低温设计摆渡车、适合香港机场运行的高温高湿三防（防雨水、耐潮湿、耐盐雾）集装货物装载机、适合成都机场长时间运行的飞机客梯车等产品，已形成完整成熟的绿色空港设备一揽子解决方案，开创了民用机场节能减排新领域。

## （二）飞机智能对接防碰撞技术

该公司所属的国家空港地面设备工程技术研发中心实验室，是拥有先进试验检测设备和优异技术的国家级实验室，可开展高温、低温、湿热、淋雨、振动、盐雾等环境试验和车辆综合性能测试、电磁兼容性能摸底、金属材料理化性能等试验。该中心自主研发的飞机智能对接防碰撞技术，通过智能识别实现低速平稳行驶、自动报警、自动减速、自动刹车和行车数据记录等功能，确保设备与飞机安全可靠对接，避免设备与飞机接触和碰撞。该技术阶段性成果位于国际领先水平，并成功将辅助防碰撞系统应用于电动车，大大提高设备安全性能。

## 四、启示

综合采用新技术是高质量发展必然选择。青岛胶东国际机场、青岛港集团有限公司、威海广泰空港设备股份有限公司在开放、创新、综合利用新技术方面给我们以启示：

综合采用新技术是提高能源综合利用效率和管理水平的有效途径。青岛胶东国际机场冷热电三联供系统实现了系统全生命周期优化和能源使用高效率，海绵体系是行之有效的全体

系化绿色雨水管理系统。各机场在绿色机场建设中，可借鉴青岛胶东国际机场先进经验，合理制定能源消耗控制目标，建立一体化、智能化能源管理系统；可采用污水源热泵、空气源热泵、光伏发电等方式合理使用太阳能、风能、地热能等可再生能源，合理使用中水、雨水等非传统水源，合理规划各类资源使用。

科技革命和产业革命覆盖民用机场高质量发展全领域，综合采用新技术提升管理和作业水平是高质量发展必然选择。民用机场作为公共基础设施，是国家综合交通运输体系重要组成部分，也是一个拥有多种业务需求的经济运行平台，完善功能和融入多式交通运输方式是发展趋势之一。开阔的眼界和立体的思维是综合利用新技术的重要主观条件。考察组真切地感受到他们走的是一条开放、创新的市场化道路。青岛港项目团队联合国内多家专业公司，坚持顶层设计先行，统筹规划布局，综合应用物联网、通信导航、信息网络等新技术，自主研发智能化、全自动化管理和作业系统，仅用3年多时间完成了国外同类港口8-10年的研发建设任务，建设成本仅为75%左右，开创了全流程自动化绿色港口发展模式。其思路、模式、技术、经验可供运输机场借鉴。

威海广泰空港设备股份有限公司以需求为导向，根据不同机场运行工况，让技术与场景融合，让懂业务与懂技术人才联合攻关、合作研发，创新研发个性化专用设备，是以产业需求驱动技术研发的市场化成功案例。

新技术应用有其自身规律和路径，应当洗刷对新技术应用简单化、庸俗化的认知，防止粗放、随机、盲目、多头、封闭立项和投资带来的资源浪费。

（作者系北京首都国际机场股份有限公司规划发展部助理，北京首都国际机场股份有限公司规划发展部业务经理）

# 民用航空与新技术应用

马会先

新技术是一个相对性很强的概念。可以特指20世纪40年代以来新技术革命各领域产生的高新技术，也可以泛指相对于传统技术而言的技术进步。从历史长河和广义角度理解新技术，或许对保持思维开放性更有意义。

物质资料生产是人类最基本的社会活动，生产方式取决于生产力发展水平。从第一件最原始粗笨的“石斧”问世至今，生产力发展一刻不曾间断，每个时代都在孜孜追求以新技术应用为标志的劳动工具进步，劳动工具改进意义上的新技术代代更新，推动着人类从必然到自由的自然历史过程，每一次劳动工具革命性变革都带来人类更大自由和解放。从社会历史发展本源意义上说，人类从必然王国走向自由王国的历史，就是由生产力中的新技术构成的链条。

航空活动是近代人类进一步走向自然的伟大创举，航空领域也是大自然对人类实现愿望干扰、阻碍因素最多的领域之一。由此决定从一开始航空活动就与新技术结伴同行，这是民用航空乃至一切航空活动的重要技术属性。

## 一、萌芽和足迹

走向天空是人类最古老、最美好的愿望之一。人类探索“飞翔”的历史十分漫长，“漫长”是因为大自然造物之初原本没有赋予人类飞翔的禀赋，但却给予人类以在劳动中锻炼起来的发达充沛的思维能力。人类对天空有无尽的诉求，科学技术发展水平是直接决定诉求实

现程度最主要的因素。

1903年12月17日，莱特兄弟制造的第一架飞机“飞行者1号”在美国北卡莱纳州试飞成功。首次飞行留空时间12秒钟，飞行36.5米，首创固定翼飞机飞行控制系统，此项技术至今仍被应用于固定翼航空器，为飞机实用化奠定基础，改变了人类交通、经济、生产和日常生活。1904年，莱特兄弟制造了装配有新型发动机的“飞行者2号”，持续飞行超过5分钟，飞行距离4.4千米；1905年试验了“飞行者3号”，持续飞行38分钟，飞行距离38.6千米，较好地解决了平衡和操纵问题。

从“飞行者1号”到今天全球庞大的民用航空业，116年中层出不穷的新技术一个接一个被应用到航空领域，一代代数以千万计的新技术源源不断向这个朝阳产业输送着血液，突破大自然对人类飞行一个又一个限制，创造一个又一个奇迹。人类航空活动重大变革的里程碑间距日益缩短，生产工具无形损耗的速度无数次令人兴奋与扼腕：

——1923年6月26日，美国史密斯、里比德各驾驶一架DH-4B双翼机，进行第一次空中加油；

——1939年8月27日，第一架喷气式飞机由德国亨克尔公司试飞成功；

——1949年2月26日—3月2日，美国盖莱合尔等人驾驶B-50轰炸机第一次不着陆环球飞行成功，历时94小时零1分钟，航程37734公里，途中空中加油4次；

——1973年12月6日，英法联合研制的第一架超音速客机试飞成功，最大速度2333公里/小时。

100多年来，航空业在民用和军用两个领域迅猛发展，共同伴随着新技术发展和应用轨迹走到今天，在航空活动的每一角落留下自己的足迹。

飞机乃至一切航空器最本质物理功能，为人类大速度、远距离位移提供了明示。航空加入交通运输序列原本就隐含在发明者创意之中。但是，在人类所有高速位移方式中，航空受主客观条件限制最多。民用航空业在人类生活中能发挥多大作用，能否实现普遍服务以及形成规模，都取决于科学技术发展和新技术应用。

民用航空与新技术结伴同行的不解之缘，在很大程度上决定或者保持了民用航空业百年来的强劲发展和至今不衰的朝阳性，其内在依据就是飞行活动与大自然之间永无止境的复杂攻略，这种非和谐关系随着航空活动范围、规模和需求的扩大日益加剧。航空活动与大自然的每一步和谐都是人类对两者关系探索的结果，每一个新技术应用都是对不和谐因素的控制和驾驭。

民用航空业始终站在新技术前沿，每一代高精尖新技术首先在这一领域应用。日新月异的新技术促进了民用航空业发展，使其发育成各国乃至全球举足轻重的战略性产业，也是每一代新技术最密集的产业之一。二战后，公共航空运输迅速发展成大众化交通方式，安全、正常、服务是公共航空运输最基本需求，满足这些需求的新技术层出不穷。

飞行活动用于公共交通运输受到的限制更多。安全、正常两大基本指标受到多种自然和人为条件的限制。从安全管理原理上说，自然条件限制和人为差错都是客观存在的，新技术总是通过克服两个方面局限发挥作用。航班正常性和运行效率是目前公众最关心的问题。公

共航空运输正常性取决于多方面因素，各方面因素对航班正常性的影响都是直接的，各种复杂因素的解决都要依靠技术进步一步一步解决。

20世纪40年代末，从美国发端的以电子计算机、原子能、航天空间技术为标志的第三次科学技术革命迅速扩展到全球，大量新技术应用到航空领域，加快民用航空技术不断升级，不断升级的航空技术日益推动航空运输规模扩大，更多需求随着规模扩大涌现出来，新需求推动推动新技术发展。

新技术应用是民用航空一切领域发展的伴随者和动力源。民用机场新技术与航空新技术发展历程和特征步步吻合。我们无论如何不能把航空新技术与航空基础设施新技术装备分别而论。

### （一）突破基础资源限制需要新技术

空域总量是自然的有限资源，特定空域容量大小则是技术问题。目视管制时代，管制员看着飞机实施指挥。随着技术进步，管制方式逐步过渡到程序管制，同航线同高度每相隔10分钟放行一架飞机。按照这种管制方式，全国有300架飞机就难以承受。目前中国民航运飞机已经超过3400架，平均每个运输机场有14架飞机。而同航线同高度两架飞机前后最小距离缩小到20公里。京广、京沪航线采取偏置飞行，侧向间隔近6公里，区域间隔10公里，资源使用效率大幅提升。为什么能够这样安排航班航线飞行和进离场？最主要的就是采用了雷达管制和GPS导航定位。飞行机组在计算机上输入包括场压、温度、湿度、风向、风速、离场程序、航线走向、飞行高度等所有航行诸元数据，飞机自动驾驶仪按照计算机指令、地面导航和雷达管制实施飞行。飞行中遇到雷雨、大风等特殊天气，就会因为天气原因和特殊要求改变航线和高度。这是新技术带来的基础资源增容和资源使用效率提高。

### （二）突破自然条件限制需要新技术

安全是一切航空活动永恒主题。ADS-B广播式自动相关监视系统是一种基于卫星定位和地/空数据链通信的先进补盲技术，非常接近雷达标准。雷达故障时采用ADS-B，就不会退回到程序管制，放行架次与雷达管制相差不大。使用ADS-B比雷达成本低，没有雷达盲区。它是监视技术主要发展方向，也是未来“自由”飞行的奠基石。我国运输机场已基本实现ADS-B全覆盖，导航台NDB、全向信标台VOR等都将被取消，都将被ADS-B、PBN等卫星数据链和运行方式所代替。目前部分飞机机载设备与PBN、RNP、ADS-B等运行程序尚未达到地空同步，需要加装和改进，这个时间不会太长。

### （三）劳动方式进步需要新技术

飞行驾驶员是航空运输主要人力资源。随着新技术在航空领域应用，飞行驾驶员能力结构发生很大变化。劳动方式主要不是依靠延长劳动时间、强化体力支出来提高劳动生产率，而是利用新技术减轻人的体力和脑力消耗来提高劳动生产率。飞行驾驶日趋简单，很多工作由计算机完成。飞行驾驶员逐渐成为驾驶舱资源管理员，除了开车、滑行、起飞、降落外，其他飞行过程都由计算机完成，飞行驾驶员就是看好仪表，处理特殊情况。

驾驶舱工作环境和技术手段日益改善。HUD即平视显示器由一块经过特殊处理的平视镜、投影仪、计算机、显示面板组成，与飞机仪表着陆系统接收机、飞行管理系统（FMS）、高度和速度表、飞行控制系统、机载防撞系统（TCAS）、风切变告警（GPWS）等系统相连。飞行驾驶员无需频繁抬头或低头就能够看到所需飞行参数，对提升飞行品质和安全水平具有重要意义。过去放一个机长需要1200小时，现在需要3000小时，主要原因就是飞行驾驶员上手操作时间很少。

### （四）改善运营环境需要新技术

2004年，RNP、AR航行新技术进入中国，

破解了高高原机场运行难题。四川九寨黄龙机场主降方向跑道风乱流、风切变给飞行进近带来巨大安全隐患。但黄龙机场跑道南端地形平坦，风向风速较北端平稳，应用RNP AR公共程序后，实现双向起降，减少返航备降，降低特殊异常天气对飞行的影响，保证了飞行安全，提高了航班正常性。不到10年时间，大多数航空公司具备了RNP运行能力。

2018年8月1日，南航CZ8647航班平稳降落在海拔4411米稻城亚丁机场，这是世界上海拔最高的运输机场。本次飞行使用的A319是空客A320系列中的高原型飞机，经过新技术改装，性能优越，非常适合高原机场运行。

黄山机场地处山区，地形复杂，城市发展与净空保护矛盾日益突出，仅能单向仪表起降，运行标准较高，对运力引进和航班运行制约很大。近年该机场完成4D等级改造工程，改善基础设施设备，推进PBN、HUD、ADS-B、RNP AR等新技术应用，大大提高安全保障能力。2018年8月10日，东航A320/B8563飞机顺利完成全部公共RNP AR试飞科目。黄山机场在运用国际先进技术、优化机场安全运行模式、提升机场运行保障能力方面向前迈出了一步。

### （五）增加安全裕度需要新技术

每一项民用机场新技术应用都对提升安全保障能力具有重要意义。腾冲机场地处高原，海拔高度1887.8米，是云南省填方最大的运输机场，跑道南北两端填方高度分别达到86米、43米。环境决定了该机场无法再增加跑道端安全区长度，跑道一端是悬崖，存在飞机冲出跑道重大安全隐患。跑道端特性材料拦阻系统EMAS技术，解决了跑道端安全区较短、安全裕度不足的难题。采取EMAS技术，能够在不增加安全区长度情况下，实现与延长跑道端安全区300米等效安全裕度，能够极大地减少飞机冲出跑道造成重大飞行事故，对因地理条件等原因无法延长跑道端安全区的运输机场具有重大意义。

## 二、热潮和趋势

每当生产力出现革命性变革，人们生活方式都会发生很大变化。飞机与印刷术、蒸汽机一样，再一次改变了人类生存方式。100多年来，飞机把人类生存的巨大星球缩小成为一个“村落”。上世纪40年代末信息技术萌生，之后发展速度超乎一般人想象，挖掘出来的需求和满足需求的程度出人意料，以致我们无法判断会在什么领域、何时何地孕育着重大突破。信息交流在生产力发展中的作用越来越大。据统计，本世纪初科学技术进步对劳动生产率贡献率为5%-20%，90年代后达到60%-80%。高技术领域中人的劳动技能摆脱了体力基础，智力占据主导地位。劳动对象已不是人力作用于物，而是人对生产过程中的各种关系的控制和调节。正是在这个意义上，新技术成为使用频率最高的概念之一，新技术应用呈现出前所未有的热潮。

近几年，运输机场以提升旅客出行体验为主要目的的新技术应用，彰显了高质量发展的一个侧面。过去5年，运输机场旅客吞吐量以平均11.04%速度平稳增长，旅客出行质量诉求日益突出。特别是繁忙高峰时段，运输机场最拥堵的有三处：乘机手续柜台，托运行李柜台，安全检查通道。大流量影响出行体验，成为社会关注和运输机场亟待解决的痛点。相当一段时间，旅客对安全检查意见很多，特别是提高安检级别时，开包率高、速度慢，旅客意见非常大，采用新技术实现安全、高效、快捷的安检成为普遍需求。

2017年8月，民航局在北京、上海、青岛等4个机场同步开展毫米波人体成像设备现场试用评估。2018年5月，在南京、青岛开展毫米波人体成像设备通行压力测试，进一步验证通行效率，为即将推行的“差异化安检”提供技术支持。之后，民航局颁布《民用航空毫米波人体成像安全检查设备鉴定内控标准》、《民用航空毫米波人体成像安全检查设备违禁物品探测

能力测试程序》，将毫米波人体成像设备纳入中国民用机场安检设备清单，中国成为全球第三个、亚洲第一个独立颁布毫米波人体成像技术标准的国家，这一新技术将取代沿用26年的金属探测门技术。

2018年7月，中国民用机场协会举办的第六届中国机场安全(安保)大会上，盛视科技有限公司推出“人脸识别”自助安检通道，吸引与会代表关注。这一新技术主要优点是：

- 提高安全检查效率。8秒内通检，大大提高通检速度，将安全检查每小时160人提升至266人，化解拥堵；
- 提高资源使用效率。1条自助通道可代替3条传统安检通道；安检员只需巡视处理异常情况，1名安检员可负责6-8条自助通道，大幅度降低人工成本；
- 自助人机界面有效减少冲突。

2018年7月25日，乌鲁木齐安检总站和新疆民航凯亚信息公司联合研发的自助验证闸机上线运行。该设备不需要人的任何干预，6秒内可完成票证查验所有工作。

2018年8月1日，拉萨贡嘎机场应用自助值机、人脸识别等新技术，旅客凭借网上自主值机时产生的二维码和有效身份证件以及移动设备即可完成所有登机手续，旅客出行便捷顺畅。

2018年8月25日，深圳机场启用专用柜台，未携带身份证旅客可通过扫描二维码申请临时乘机证明，经人脸识别完成身份认证后即可乘机。

我国民用机场正朝着为旅客提供自助服务方向迈进。2018年6月，国际航空运输协会(IATA)第753号决议的实施，意味着运输机场和航空公司将在行李管理系统投入更多资金以便遵守这一规定。

航班正常率是旅客对航空出行的主要需求之一。在影响上班正常的若干因素中，大型枢纽机场保障资源短缺越来越突出，这是全球普

遍问题，我国尤其突出。2018年我国千万级大型机场将增至37家，保障资源紧缺的运输机场每年都在增加。

2018年，中国民用机场协会考察了慕尼黑机场A-CDM系统建设。该机场2002年启动A-CDM建设，历经起飞前准备（COB）程序建立、试运行（CDM）、取证（A-CDM）、系统环境管理（SEM）、全面机场管理（TAM）等阶段，2007年成为全球首家获得A-CDM合格证的运输机场。该机场A-CDM以提高运行效率为核心目标，将空管、机场、航空公司、地面服务和欧控NMOC系统连接在一起，通过大数据交联应用，全程控制飞机起飞、降落、本场作业、本场空管批准及本场起飞等16个环节，倒推飞机启动批准的目标时间（TSAT）。2017年两条跑道保障航班起降40.5万架次，飞机除冰1.1万架次，计划时间15分钟内起飞正点率83%。每年为航空公司节省燃油约100万美元。

中国民航从2017年开始推广A-CDM系统建设，部分运输机场和空管系统积极探索“控总量+最小尾随间隔”运行模式。由A-CDM系统控制航班总量，运输机场与航空公司协商择取优先放行航班。例如CDM系统发布15分钟内可保障10架次航班，运输机场与航空公司根据实际运行情况作出具体选择，避免已经安排航班起飞时刻，但地面保障未就绪导致时刻浪费。

A-CDM建设提升运行效率主要功能包括：提高预计启动准确性，用预估时间确定目标时间，从航班计划着陆时间开始提前计算TOBT；优化系统运算程序，预测从时间驱动转为事件驱动；使用灵敏性分析统计模型评估不同事件周期影响，自动实现更完善的处理流程。

A-CDM应用主要成果包括实时与承运人、驻场单位进行传输交联，陆侧空侧协同运行减少延误；提高飞行区基础设施利用率；不仅有效地节约了能源、保护了机场环境，同时大大提升旅客满意度。

旅客行李处理系统是运输机场复杂系统

之一。中国民航第二研究所提供的高速自动分拣技术，实现了行李精准、快速分拣和运输；RFID识别及追踪技术对行李全程追踪，提高行李装运准确率，并将相关信息实时推送至机场、航空公司和旅客。

2018年7月15日，中国民航空中交通管理局与美国联邦航空局（FAA）共同举办中美民航地空数据链技术研讨会，中国民航计划开展密集航路空域基于数据链技术空管服务研究验证，完善我国基于地空数据通信空管业务发展路线和实施计划。

目前我国高原机场和高高原机场进离场程序，采用基于性能的导航PBN 和高精度导航技术RNP等国际先进导航技术和程序，减轻驾驶员劳动强度，增加了安全裕度，都是近年来推行的新技术，也是未来飞行导航发展趋势。特别是基于性能的导航PBN，是国际民航组织（ICAO）提出的一种新型飞行运行方式和空中交通管理概念，对实现持续安全、增加空域容量、减少地面导航设施投资、提高节能减排和环保效果等具有重要作用，也是未来我国民用机场建设乃至新一代航空运输系统的重要新技术之一。

历史证明，民用航空作为一个技术密集行业，其高质量发展离不开科技创新和新技术应用。我国民用机场在新技术应用方面热情之高、投资之大前所未有。

### 三、担忧和希望

新技术应用在很大程度上决定民航强国建设进程和质量。中国民航已是全球第二大航空运输体，运输生产稳步增长。国际机场协会（ACI）数据显示：2017年全球运输机场3800多个，年运送旅客38亿人次，起降3400万架次。旅客吞吐量全球排名第一是美国亚特兰大机场，1亿多人次，第二位是北京，9000多万。2018年我国旅客吞吐量千万级运输机场37家，首都机场旅客吞吐量超过1亿人次。

但我国运输机场发展中问题也比较突出，

服务质量声誉有待提高。2017年，英国一家机构（Skytrax）对全球550个运输机场和1300万旅客就登机服务、转机服务、购物体验、机场保安、入境安排等进行问卷调查，调查结果显示：全球排名前10的除香港国际机场外，我国大陆没有一个运输机场进入前10。该调查排名前10如下：

- 新加坡樟宜；
- 东京羽田国际机场；
- 仁川国际机场；
- 慕尼黑机场；
- 香港国际机场；
- 哈马德国际机场（卡塔尔）；
- 名古屋中部国际机场；
- 苏黎士机场；
- 希思罗机场；
- 法兰克福机场。

日本占其3，欧洲占其4，亚洲其他国家占其2，南亚占其1。从发展趋势看，随着美国实体经济复苏，其航空业保持强势，中东在崛起。欧洲大型航空运输企业受低成本冲击，期待介入新兴市场。我国航空运输企业也在积极争取国外航线资源和与外航合作。2018年8月28日，波音公司发布预测：未来20年，亚太地区需新增民用飞行驾驶员24万名，航空器维修人员24.2万名，空中乘务员31.7万名；甚至估计未来20年，全球航空公司至少需要63.5万名飞行员才能满足民用航空业发展需求。参照这一预测，民用机场业仍然具有蓬勃的朝阳性，资源利用效率乃至整体发展质量需要大幅提升。

《中国民用机场布局规划》显示：到2025年，我国将新增136个运输机场，运输机场总数370个；形成京津冀、长三角、珠三角3大世界级机场群，建设10个国际航空枢纽和29个区域枢纽。运输机场旅客吞吐量位居全球第一。有专家预测：到2025年，全球旅客吞吐量排名前30位机场中，中国约占15个。

我国民用机场处在特殊发展时期，特别是

中小机场发展较快，各项发展政策逐步与国际接轨。2017年3月14日，民航局发布中小机场补贴预算方案，162家中小机场获得补贴，补贴总金额14.29亿元。平均每个中小机场获得补贴为882.11万元，获得补贴最多的是新疆喀什机场，补贴额1883万元；最少的是大连长海机场，补贴额427万元。全国43家中小机场补额超过1000万元。

可以乐观的是中国民航在若干个总量上继续走向大国，位居全球第一已经没有疑问；不容乐观的是怎样真正强起来。“大起来”得力于40年改革开放和特殊国情。“强起来”还需要认真对待。

新技术应用热潮另一面，是对新技术应用的担忧。这种担忧主要是伴随热潮而来的“虚火旺盛”，这种抑制不住的浮躁，往往是我们对待一切新事物常见的主观状态，或许在某种程度上已经成为一种精神“传统”。不妨历数一下，这种主观因素曾使多少新理念、新技术、新模式的引进和普及事倍功半，甚至虎头蛇尾、有名无实，以致在某种程度上使引进新理念、新模式、新技术在虚火之后富有实效成为小概率事件。

主观世界可以改变历史的轨迹或形态，但改变不了规律和趋势。新技术应用是生产力发展不可违逆的大趋势，也是民用机场一切领域必然走向，这一点自不必担忧。但始终处于缩小差距过程中的中国民用机场业，能否在新技术应用变革中少走弯路，也是不能回避的问题。

我们在新技术应用大潮面前似乎还缺少点什么准备？

### （一）求真务实的精神

笔者认为，在技之外我们还需要脚踏实地。人类第一架飞机诞生过程的每一个细节都是值得追忆的。莱特兄弟从小就对机械装配和飞行怀有浓厚兴趣，在从事自行车修理和制造过程中，1896年开始从事飞行研究。1900—

1903年，他们制造了3架滑翔机，进行1000多次滑翔飞行。他们在代顿自行车修理厂里解决了阻碍重于空气的飞行器如何飞起来的难题，在风洞里试验了他们自己设计制造的一系列比例模型，这项工作花费了7年时间，自制200多个不同机翼，进行上千次风洞实验，修正了李林达尔一些错误飞行数据，设计出较大升力的机翼截面形状。莱特兄弟很重视理论学习，不仅阅读了空气动力学方面有关文献，为了读懂李塔尔的著作，他们还学会了德文。

“飞行者1号”划时代那天，没有形式，没有场面，空旷的场地上冷冷清清，观者仅5人，一切都在悄无声息中进行，场面之冷寂与今天某些场面和高调显得不值一提，而人类动力航空史就此拉开了帷幕。仅仅从这次飞行的技术角度看，现代飞机转弯和机动动作的主要部件都可以从这架飞机上找到，尽管它是那么原始。

从1903年“飞行者1号”到美国迈耶堡阅兵场周围飞行55圈，创造连续飞行1小时的世界飞行纪录历时5年。直到1908年，当莱特兄弟制造第6架飞机成功后，美国陆军部才观看他们的飞行表演。1909年3月，美国陆军部正式向莱特兄弟订货。莱特兄弟在飞机上增加了专为瞭望员和机枪手准备的特别座位，为飞机应用于军事开辟了一片新天地。

回顾前人足迹下的细节，我们当下日日提倡的“创新精神”与“工匠精神”本质上是一个精神特质。这种深入骨髓的精神特质既不是规划、号召出来的，也不是舆论出来的，而是长期的环境造就和文化积淀的结果。1903年12月17日最可贵的或许不是“飞行者1号”的飞行，而是至今应当提倡和追求的一种精神财富。我们缺少的不一定是这样的专业化创新人才，而是普遍缺乏这样的科学态度和科学精神。

## （二）开阔发展视野

调研发现，目前只有为数不多的运输机场采用手机扫码技术，有的运输机场管理机构对

新技术应用有顾虑。比如航空公司的APP平台，可以直接办理乘机手续，直接刷脸过安检，有的运输机场不愿意采用新技术开通这些业务，并不是新技术有问题，而是顾虑旅客都在网上和APP上办理值机手续，都采用电子登机牌，机场设施设备租赁收入会降低。

新技术应用是不可逆的大趋势，我国运输机场航空业务量持续增长已成稳定态势。“两势”之下，作为公共基础设施管理者的机场管理机构，如何提升基础设施商业价值，新技术应用与基础设施商业价值是抵触还是互成升级等，都不是复杂问题。之所以产生“设施设备租给谁”的困扰，是因为我们眼界太窄甚至狭隘，果真如此，我们眼中的前景就只能是“明日黄花”。

把握新技术应用趋势就把握了高质量发展的趋势。以新技术应用全面铺开和深度拓展为特征的高质量发展，必将导致运输机场传统业务以及各方面结构性调整，包括运输机场空间布局、功能布局、成本结构、资源结构等，都会发生很大变化。运输机场是多种业态聚合的经济运行平台，市场化程度越来越高，品牌化服务越来越多。航空公司不再需要传统设施设备，退租是情理之中，但与此同时，新技术催生的新需求会更多地喷发出来。

新一代信息技术作为第一生产力，已成为当代经济发展的决定因素。首先，高科技及其产业促进了劳动生产率的大幅度提高。据统计，我国现阶段高新科技产业的人均产值，是传统工业人均产值5-10倍，是手工业50-100倍。其次，当代产品中的科技含量高度密集，极大地提高了产品的商业价值。如以产品的单位重量价格比来计算，钢材为1，小轿车为5，彩电为30，计算机则为1000。美国国家航空航天局(NASA)1972年发射的地球资源卫星，投资总额2.7亿美元，第一年就回收14亿美元。

云从科技创始人周曇认为，在智慧机场概念下，机场管理机构可以做更多的事。调查显

示：人们在大商场停留时间一般为30-50分钟。航空旅客在机场停留时间远超过大商场，运输机场可以充分利用旅客信息数据，比如年龄、籍贯、消费习惯等来挖掘旅客需求，实现运输机场服务多样化。

与此类杞人忧天观念血脉相通的是，有些新建大型机场或基础设施改扩建宣传中，一说就是指廊多么长，步行时间多长，有多少值机岛，让人听来第一感觉是还在做前天的事情。如果说我们在诸多方面的差距往往是“用别人的昨天装扮我们的明天”，那么还应当指出：很多时候我们还在用自己的前天装扮自己的明天。我们的规划、设计和建设，也赶不上新技术快速发展进程，这是一种深入骨髓的思想惰性。

机场管理机构、特别是决策者要最大可能地拓展国际视野和科技视野，以开放思维迎接日新月异的新技术，这是高质量发展的一个基本因素。

### （三）支持国产新技术

我国民用机场是在改革开放中发展起来的，发展中每一个瓶颈和难点都为新技术所攻克。当新技术日益成为民用航空业发展支撑力的时候，我们难免有一种危机感。不难发现全球范围技术创新和迅速转化背后的支撑点在何处，也不难看出航空业务大量级跃升背后是“大国”的特殊国情。数据显示：1985年我国颁布《专利法》，此后一度外国企业在华申请专利14万件，是国内企业专利申请6.4倍，在光学、无线传输、信息存储、移动通讯等高技术领域，外国申请专利高达90%以上。这种专利圈地不仅抬高了我国引进新技术成本，也极大地压缩了我国企业技术研发空间。初衷积极背后所隐藏的后果，往往是不以人的意志为转移的。在我们提到综合实力或整体实力的时候，很大程度上不是有或没有，也不是有多少，而是要拥有保证良性发展的环境软实力。

作为新技术密集使用的运输机场，积极采用国内自主知识产权的科研成果，支持国产新技术产品或许是一个义务。目前，中国民航科学技术研究院、中国民航第二研究所、中国民航大学、中国民航信息技术有限公司等科研机构、高等院校、高新技术企业都有很多新技术成果。

中国民航科学技术研究院拥有我国EMAS技术自主知识产权，2012年7月12日获得民航局许可证。在此之前，美国ESCO公司的EMAS是全球唯一同类产品。这项自主研发新技术大大降低EMAS安装维护成本。2006年，九寨黄龙机场安装2套EMAS，花费人民币近9000万元。时隔5年，2010年台北松山机场计划铺设1套该系统，预算43000万新台币，约合人民币9500万元。我国运输机场安装美国EMAS产品，需要面对3个问题：价格高、维护距离远、维护费用高。如前所述，腾冲机场采用EMAS时，中国民航科学技术研究院的EMAS尚在研发过程中。该机场积极与航科院积极接触，跟进了解。航科院EMAS研发成功后，腾冲机场采用了该院国产新技术，大大降低了安装成本。加之正值航科院EMAS技术启动用户，给腾冲机场安装EMAS特别优惠，节省了大笔资金。该项技术对提高飞行运行安全、提高航班正常性、提高运行效率、增加航空公司和机场的运行效益以及节能减排方面都有显著效果。

中国民航第二研究所紧跟信息技术发展的步伐，研发了一系列智慧机场应用系统，在各大机场得到广泛应用，覆盖了空侧、楼内、陆侧三大板块，从生产作业层到业务管理层到管理决策层，均可提供不同产品支撑；不同产品之间依照业务流程时序性、作业区域关联性、生产管理层级性建立了有机联系，形成了针对运输机场运行与管理整体解决方案。此外，该所跑道异物探测技术、新型LED助航灯光技术、空侧安全运行管理技术、防跑道入侵技术、行李托盘分拣系统、多点定位系统、IV型除冰防

冰液等，都是国内领先、国际先进的新技术。

我国自主研发高速行李自动分拣系统中标北京大兴机场项目，国产电子客票系统成功投产，ADS-B地面站设备全面国产化，民机搭载北斗导航系统试飞成功，使用国产生物航油实现跨洋载客飞行等，都展示了科技创新和新技术应用的良好前景。

任何事物萌芽、产生和发展都是有条件的，条件不同，南橘北枳。环境是直接参与技术创新过程的一个重要因素。一个行业对新技术敏感性和认知水平，对萌芽状态新技术的态度，往往决定新技术转化速度和对经济社会发展影响的范围和程度。新技术成果转化的实质是新技术商业化过程，新技术商业化必须要有发达的市场机制。加快新技术转化的基础条件之一，就是加快提高全行业的市场化程度，在市场机制之外寻求加速转化往往是事倍功半。民用机场新技术应用水平提升，需要供需双方共同创造完善发达的市场机制。

（作者系中国民用机场协会副秘书长）

# 2018全球经济报告

安吉拉·吉滕斯

翻译：乔楠、吴洪霄

## 内容提要：

### 一、全球分析

**二、机场收入：**机场行业/航空收入/非航空收入/航空收入与非航空收入的变革

### 三、机场成本：运营成本/资本/经济规模

**四、财务业绩：**投资回报/比较回报/机场财务表现及机场规模

### 五、展望

## 前言

民用机场对于城市、国家和地区经济发展至关重要。监管机构、政策和决策者可以通过预测趋势，解决行业基础设施和国家发展战略中资源需求来优化机场，给社会和商业发展带来经济效益。国际机场协会(ACI)承诺向其成员提供行业知识建议和协助，以便更好地支持他们的决策。ACI机场经济报告将成为机场经济和金融领域权威参考文件。该报告为决策者提供了数据驱动的证据和关键见解，以便对行业状况作出明智判断和正确决策。

我们很高兴地注意到，这本期刊财务分析基于919个机场综合样本，占全球乘客流量

78%，所有区域和机场的规模都用真实的、具有代表性的数据分析展示出来。

与前几年一样，报告的基础包括对行业收入和成本的总结和评论，以及随着时间而发生的变化。我们相信，这份报告能让你了解业界最新经济发展情况，为贵公司/组织之后一年的发展提供有价值的信息，并协助指导机场经济可持续发展。

### ● 报告的方法、样品和覆盖范围

KPI和这份报告的内容是基于一项年度调查。该调查是从2016财年919个机场中得出的，这些机场在2016年运输了60亿乘客，占全球乘客流量78%。

### 抽样目标分三个阶段：

1. 最大限度地覆盖世界顶级机场乘客和货物运输；
2. 增加机场参与度，以便引入精确数据进行分析；
3. 明确出哪些区域典型是整个行业重要组成部分。

根据每个样本反映的世界各地交通准确分布情况，制作出模型。

为了找出区域性关键指标，我们要求在样本中至少覆盖50%的客流量，包括每个区域主要商业机场覆盖率。在某些情况下，区域内某一特定项目数据不足时，就无法计算出关键指标。

就实际参与机场数量而言，亚太地区样本数量最多，采集了265个，其次是欧洲235个和拉丁美洲加勒比地区184个。表格A提供了各个洲的机场数量分布情况，按运输机场规模等级划分，100万级别以下298个；100万到500万184个；500万到1500万100个；1500万到2500万37个；2500万到4000万27个；以及超过2500万的机场38个。每个机场的数据都进行了统一分析，并呈现在经济调查报告中。使用各种指标检测数据统计质量控制中的异常情况，并根据需要与机场数据提供方进行协商。

#### ●预测和模拟

统计中，部分数据采集困难，我们通过多种技术手段对其进行了预测。在以往数据基础上，通过序列数据计量技术或其他模拟方法、经济模型进行综合分析，补充了丢失数据。

#### ●国际可比性

每个机场财务数据都被转换成67种不同货币单位，并且按外汇市场和/或国家确定的汇率统一转换成美元。年均汇率是通过月度均值计算出来的，并转换成了当地货币。在机场收入、成本以及特别提款权方面，汇率则需要具体分析。

考虑到近两年美元总量和可比性，2015年财务数据根据通货膨胀率有所调整，使2015到2016年货币波动整体放缓。通货膨胀率和汇率来自于国际货币基金组织。

### 一、全球分析

#### (一) 全球经济

“光明前景”和“乐观市场”，是2018年1月版国际货币基金组织(IMF)的《世界经济展望》中对于全球经济的描述。自2016年年中，随着商业信心回升，制造业周期性复苏和全球贸易蓄势待发。强劲回升的需求在一定程度上受到低利率环境推动，使全球市场保持活跃，

资产价值飙升至2018年。随着欧盟成员国和亚洲经济活动增长，经济活动的加剧已经波及到许多行业，而且美国税收政策变化的预期影响也刺激了增长势头和乐观情绪，尤其是在金融市场。经济活动持续强化显而易见：相比2016年全球GDP增长3.2%，2017年增长3.7%。

同时，各方面挑战也仍然存在。通胀压力和旨在遏制潜在资产泡沫、遏制关键市场过度杠杆化的信贷条件，是未来增长的主要障碍。此外，从长远来看，来自贸易保护主义威胁、内部固有政策和区域性政治紧张格局是全球经济成长的下行风险。

然而，许多发达经济体的活跃程度使得2017年到2019年每年预期增长率达到2%-3%。全球主要经济体中，美国总体增长模式出现了更大趋同。特别是美国和欧盟市场，预计2017-2019年，年增长率将超过2%。2017年，新兴市场预计增长4.7%，超过2016年4.4%的增长率。

为平衡2018年增长5%的预期，新兴经济体继续在全球经济增长中扮演重要角色。产量增长来自中国和印度等主要市场，中国和印度的产量增长仍将在6%以上。这两个经济体拥有27亿人口的综合市场，占全球人口三分之一以上，对全球经济增长起到了绝对支撑作用。

其他具备潜力的新兴经济体包括巴西、俄罗斯和尼日利亚，也从2016年产量萎缩的衰退中慢慢走了出来。由于供需影响，大宗商品价格短期内将上涨。中东地区的政治紧张局势以及石油输出国组织(OPEC)成员国石油产量的限制，对油价构成了上行压力。在短期内，北美的气候条件起到了支撑能源需求和价格的作用。在航空业背景下，飞机燃油价格在2017年最后一季度也有所上升，但仍远低于2015年以前的每桶120美元。

#### (二) 航空运输需求

人口、人均收入增长和航空运输需求之间的联系，在发达国家和新兴经济体的机场，都

呈现出明显上升趋势。由于航空公司低成本商业模式和处于历史低位的航空燃油价格，整个行业中各种微观经济因素不断刺激着需求。

尽管发达经济体的经济保护主义威胁日益严重，但2017年全球贸易和航空运输需求强劲增长，这些令人鼓舞的迹象表明人们对国内政策影响的担忧并未完全显现。

自2009至2010年初的经济衰退结束以来，全球客运量以年均5.5%速度增长，充分证明了航空运输业的韧性。排除短期商业周期波动影响，未来航空运输需求增长必将来自新兴和发展中经济体，这些市场相关经济数据充分说明这一预测。全球大多数人口居住在新兴和发展中国家，占总人口85%以上。与发达国家相比，人均收入持续增长，航空运输自由化，竞争日益激烈，乘飞机旅行的倾向正在上升。由于未来客运量增长将主要来自于人口众多的亚太市场，航空的重心将继续向东转移。2016年，新兴和发展中国家机场占全球机场45%，到2040年，这一比例预计将增加到62%。到那个时候，新兴和发展中国家机场的乘客吞吐量将是发达经济体机场乘客吞吐量的1.6倍。

### 1. 航空客运

航空客运继续遵循着自己的节奏，年度增长率在历史平均值以上。即使考虑到部分地区的政治风险，国际和国内旅游年增长率仍会继续上扬。2016年全球客运量增长6.5%，乘客人数达到7700百万人次。初步计算，2017年客运量将同比增长6.4%，达到8200百万人次。

国际交通仍然是这些增长的主要驱动力，特别是欧洲和亚太市场。尽管存在不确定性，并且英国可能退出欧盟，但欧洲最大航空市场继续在2017年客运量继续取得很大进步，同比增长了8.5%。欧洲强劲的整体商业化和消费者信心加上许多航空公司提供低成本运输，将继续促进欧洲航空旅行方式。在欧洲迅速发展之后，亚太地区也显示出对航空旅游的强烈需

求。2017年，许多印度和中国的机场继续实现两位数增长，区域增长率达到7.8%。

同年，拉丁美洲和非洲客运量，尤其是巴西和尼日利亚，都已从之前的经济衰退中慢慢复苏。非洲和拉丁美洲加勒比的增长率分别为5.9%、4.3%。

2017年，作为一个整体中东机场与前几年相比，客运量增长趋于稳健，同比增长4.7%。主要原因是卡塔尔外交危机导致与其他中东国家间的旅游禁令和贸易封锁，拉低了前些年强劲增长势头。

2017年，相当成熟的北美市场也有同比3.5%的增长，远高于过去20年每年1.1%的平均水平。美西南航空——全球最大的低成本航空公司，以及迅速发展的太平洋和中美洲国际市场，都像注入了催化剂一样快速增长。在过去几年里，一些大型枢纽中心也恢复了增长，2017年丹佛(DEN)、旧金山(SFO)和洛杉矶(LAX)增长率分别为5.3%、5.1%、4.5%。

### 2. 航空货运

2016年下半年，航空货运市场呈现强劲复苏势头。2017年，全球机场运输了近1.2亿公吨货物，比2016年增长8%。所有地区销量都强劲增长。在跨境贸易强劲增长刺激下，欧洲、亚太和北美最大市场的总货运量分别增长8%、8.5%、7.3%。

作为全球最大的两个航空市场，尽管美国和英国贸易政策近几年来一直存在着不确定性，但其商业信心并未受到影响。国际贸易和工业生产继续在全球经济周期性复苏中取得进展，这部分已成功转化为航空运力增长。库存量、出口量增加和消费者需求增加反映了电子商务的重要性。最后，由于行业整合和破产，暂时替代海运也助推了航空货运量。

短期内，与空运有关的快速运输方式仍然是出行主要选择，特别是在消费者对高科技产品和易腐物品的需求量日益旺盛情况下。网络

购物衍生的空运快递，也是空运数量激增的重要因素。阿里巴巴和亚马逊等网络零售巨头通过设立地区中心，在物流业务上占据一席之地。阿里巴巴将其物流业务集中在中国和马来西亚；亚马逊则占领了北美战略机场，如辛辛那提的北肯塔基国际机场(CVG)，作为其在中西部地区的主运营基地。即使亚马逊的航空货运设施到2020年还没投入运营，这个机场仍是全球增长最快的货运机场之一。仅2017年，北肯塔基国际机场货运量就增长34%。

### 3.乐观需谨慎

有几个障碍可能会短期甚至长期抑制需求持续增长，例如，某些区域局势动荡、恐怖主义和对地区安全有威胁的问题。另外，航空运输基础设施的物理承载能力和潜在的瓶颈也给未来航空运输需求带来挑战。再次，在不断深化的经济一体化和航空运输自由化中消褪的保护主义政策可能也会导致航空服务需求下降。

## 二、机场收入

### (一) 机场行业收入

航空收入和非航空收入是机场经营者获得收入的两个主要来源。这两个收入来源在2016年增长速度与去年同期比较，与全球空运需求强劲增长相一致。非航空收入仍然是机场重要收入来源。大部分收入来自于相关的航空活动。航空收入占总数56%，非航空收入占39.4%，非经营收入占总数4.6%。

过去5年里，机场整体收入每年增长6.1%，2016年达到1600亿美元。今年实际增长与航空运输需求趋势基本保持一致，这也表明航空运输仍然是机场收入主要驱动力。

因此，尽管在名义上和实际经济条件下(扣除通货膨胀因素后)，工业收入仍在增长，但从乘客收取的人均费用保持稳定，每名乘客18美元。2015-2016年，每位乘客保持在17.88美元。

从区域看来，欧洲和亚太机场占全球机场收入比例最大，分别为34%、31%，其次是北美

19%，中东8%，加勒比海和拉丁美洲6%。2016年，非洲机场收入仅占全球机场收入的2%。

与前一年相比，非洲机场收入稳步发展，增长12.6%。亚太、北美和中东地区收入也增长7%、10%。欧洲增长3.1%，拉丁美洲及加勒比地区，由于衰退和通胀压力在整个财政年度对航空运输业造成负面影响，增长率为-2.6%。

### (二) 航空收入

航空收入是向使用机场设施和服务的用户或乘客征收的一系列费用。飞机运营商通常会为机场基础设施，包括跑道、滑行道、停机坪、停机位和廊桥付费。这些费用通常基于飞机重量而定，或根据飞机停放时间长短而定。

另一方面，乘客一般会支付使用乘客设施费用，包括电源、终端使用和保安服务等相关费用。乘客相关费用包括乘客服务费、终端使用费和安全保障费用，按每个乘客收取。这些费用通常由航空公司代表机场收取，以避免航班延误和不方便。也可能会对转移到其他飞机上的乘客收取中转费。

为了使乘客清楚支付某项费用是由于飞机原因还是自己的原因，许多机场开始使用支付系统。航空基础设施成本逐步被从飞机相关费用支出转嫁到乘客身上，在竞争激烈或超负荷的机场尤为明显，特别是许多主要国际枢纽机场。乘客和航空公司贡献的收入占全部航空收入88.4%，北美区域候机楼租赁所得收入占11.6%。

与2015年相比，客运收入增长8.5%，远大于航空公司为飞机着陆支付机场费用5.2%的增长。这样的增长率差异表明，随着客运收入将增加，机场运营商将朝着一个新的平衡收费体系发展。

美国实施的乘客设施收费计划(PFC)，在政府控制的商业机场中，将对每名出境乘客收取不高于4.5美元费用。大多数机场都在强调客运收入。所有区域，大多数航空收入都是客运收

入，如拉丁美洲、加勒比海和中东大部分航空收入也来自于客运收入。

整体来讲，相对于飞机相关费用收入，对客运收入依赖越来越大，这一数字还在继续增长。

### (三) 非航空收入

非航空收入比航空收入更加多样化，是机场经营损益表和收支平衡的底线设定中重要组成部分。相比航空收入，非航空收入则是拓展网络收益边界的重要因素。

非航空收入基本是来自特许经销商租金。特许经销商包括航空地面服务、公共交通运营商准入、候机楼停车服务、零售商、银行、广告及租车服务等。租金包括候机楼办公区域租金，航站办公室租金以及其他三方租金。非航空收入其他来源还包括第三方雇员安全通行证等各种费用。

在全球范围内，零售特许权仍然是机场非航空收入主要来源，占非航空收入28.8%。停车收入和租赁收入为次要收入来源，分别为20.5%、15%。2016年增长最快的非航空收入是食品和饮料，增长11.2%，零售特许权收入增长5.9%，停车收入增长5.3%。

尽管中东地区局势动荡，但其非航空收入主要来源依然是零售业，占56%，亚太区域占41.6%。随着停车收入持续增长，北美仍在停车服务收入方面领先世界其他国家，这项收入占其非航空收入40.8%。租车服务也是这部分重要收入来源之一，占17.4%，远高于6.3%的世界平均水平。

### (四) 航空和非航空收入的变革

机场竞争是现实存在的，它促进了行业发展和相关经营收入。机场成本基本上是固定的，有对基础设施的投资，也有相关的运营成本，包括安全设施与安保方面的成本，这些成本与机场规模成正比。这给机场赋予了一种与之俱来的吸引力，驱使往来客流及经营者去支

付这些费用，这是由于商业收入日益增长所带来的一种激励。

机场是两方面的业务，与航空公司和乘客都有商业关系。当航空公司认为满足条件时，就可以使用他们的航权在几家机场之间飞行。乘客选择也比以往更多。随着新航线快速发展，今天的乘客不仅可以在两个或两个以上机场选择离开或到达，而且也有更多在枢纽机场转机的选择。综合表明，乘客可以根据他们的习惯和爱好，随时从互联网上找到更多选择。那些有竞争限制的机场不得不加强对乘客的吸引力。

随着限制增长，市场力量会被削弱，对机场收费标准也施加了不小压力。在过去几年中，每名乘客在机场为实际收益所做的贡献一直稳定在10美元以内。航空收入是机场收入主要来源，航空收入增速在全球范围内与航空运输需求同步。机场收费在过去一直保持稳定和合理，以应对目前影响机场行业的竞争压力，所以对机场收费实行更严格的经济管制是毫无根据的。

与此同时，机场非航空活动也受到强烈竞争压力。机场零售特许权面临来自电子商务行业日益激烈的竞争。机场停车也面临着越来越多竞争，包括不在候机楼泊车或搭乘公共交通前往机场，导致越来越少的私家车停在候机楼的需求。因此，与交通方式变革步伐相同，机场商业收入稳定保持在平均每位乘客7美元。

## 三、机场成本

机场业发展随之带来的是资产不断扩张。结果表明，机场成本结构主要是由机场运行中基础设施保障、机场维护构成。例如：跑道、滑行道、停机坪、机位和候机楼。全球乘客运输量20年后将增至现在的2倍，飞机起降架次也将随之增长。机场运营商如何应对快速增长速度将是一个挑战性工作。机场现有设施不断扩充和新基础设施使用不可避免地增加人工成本、

维修成本、使用成本和运行相关的资金成本。

整个机场成本可以分成两部分：机场运行成本和资金成本。运行成本占整体成本64.7%以上，资金成本占35.3%。

数据显示：2016年全球机场成本占比增长：运行成本增长2.7%；资金成本增长0.6%；整体成本增长2%。统计显示，在全球机场按区域发展中，机场成本增加最多的是非洲和中东地区，分别是29.4%、13.1%。2016年，非洲地区一些主要机场成本增加非常明显，包括基础设施建设、新资本投入等。相反，2015-2016年，拉丁美地区整体机场成本呈下降趋势，尤其是墨西哥城市机场，由于前期资金投入和地区性经济衰退压力等原因，制约了整个机场发展，使成本缩水。

从2011-2016年机场成本增长来看，成本适度增长在可接受范围。其中，2014年全球机场成本增长上浮最为明显，为7.3%。2016年，全球机场行业成本整体增长2%，而乘客和货邮总周转量却增长了6.1%。

尽管在特定时期机场成本增长，但2011-2016年，每位乘客投入成本逐年减少，2016年每位乘客成本为13.55美元。

### （一）机场运行成本

人工成本在整个机场运行成本中比例最高，占35.3%。其次占比最大的成本是机场运行合作服务商，指工作业务交由第三方承包完成的机构，这部分成本占22.5%。

人工成本主要是工资、退休金和机场员工有关的其他雇佣成本。人工成本占比不同主要取决于两个因素，一是机场运行服务中选择自己内部雇佣员工，另一种是选择第三方提供服务，两种用工成本占整个运行成本的58%。

统计数据显示：人工成本35.3%、合同服务成本22.5%、能源消耗成本7.0%、租赁成本6.7%、维修成本5.4%、行政成本4.2%、设备支持成本3.1%、保险1.5%。

整个机场运行成本中，涉及到租用、租赁和特许经营占比6.7%，2016年增长幅度为8.2%。运行成本中人工成本、第三方服务在2016年分别上涨幅度为4%、6.2%，设备设施、工程、能源、废物处理等截止到2016年每年都呈现递减趋势。

2017年ACI机场经济调查显示：2015-2016年，全球机场行业经济成本增长具体内容是：租赁、租用特许经营8.2%；第三方服务6.2%；维护维修4.7%；人工成本4.0%；保险投诉解决成本3.0%；成本减少有：设备设施减少0.7%，工程能源成本减少2.1%。

### （二）资金成本

资金成本在整个机场成本总账中是非常重要的部分。它包括未偿债务和机场基础设施折旧利息。资金成本在整个的成本结构中考虑时，折旧成本增加也意味着资金成本增加。折旧成本往往指固定资产和基础设施投入费用。

折旧成本，一般都是在固定资产超出使用年限的折旧成本，它往往占到资金成本65.2%，或者说是在普遍的一个机场中占整个成本的十五分之一。

2016年全球机场资本成本表现情况：折旧成本65.2%；利息费用32.8%；其他资本成本2%。

从整个ACI机场经济数据调查来看，2016年资本成本增幅0.6%，其中折旧成本占比最大。比如燃油费用增加，2016年增加4.2%。然而，在信贷利率低和减债的整个环境影响下，利息成本也减少4.8%。而固定资产在折旧成本中却有所增加。

2015-2016年机场资本成本浮动变化：资本成本上浮0.6%；利息成本下降4.8%；折旧成本上浮4.2%。

### （三）机场经济效益

对于小机场而言，资本成本中的折旧占比逐年增加。另一方面，相对于体量较大机场利息成本要比折旧成本占比大。利息成本通常指

资金成本或者是某一个阶段机场活动或扩建中经济成本。结果表明，这些资产负债所支付的利息在资本成本里占很大一部分。而小机场普遍依靠财政补贴来维持机场运行。

实际上，整体成本平均值呈下降趋势。而固定成本整体幅度增长已经超出了机场周转量不断增加的速度。全球小机场，平均每位乘客的成本超过17美元，小机场之外的机场每位乘客成本大概14美元。

2016年全球旅客吞吐量不同的运输机场每位旅客成本：

- (1) 100万以下，旅客成本17.50美元/位；
- (2) 100万至500万之间，旅客成本13.11美元/位；
- (3) 500万至1500万之间，旅客成本12.77美元/位；
- (4) 1500万至2500万之间，旅客成本13.33美元/位；
- (5) 2500万至4000万之间，旅客成本13.53美元/位；
- (6) 大于4000万以上，旅客成本14.17美元/位。

从每项工作负荷单位来看，机场数据在客流量与总体平均成本方面存在巨大差异，上述两大变量在对数尺度上呈反比关系。平均成本与市场规模之间的反比关系可作为机场规模经济代表性指标。

#### 四、机场经济情况

由于机场采用的资本结构种类繁多，对于机场业来说衡量盈利能力是项复杂任务。虽然许多机场在全球证券交易所上市，但其中比例最高的是政府所有的机场。在4300家拥有固定航班的机场中，预计绝大多数（86%）为公有机场，即由政府或政府实体所有。国际机场理事会2016年私有化机场清单显示，有614个商业机场有私营部门参与。尽管此类机场估计占全球机场14%，但它们承运着40%以上的全球乘客

量。因此，衡量机场财务绩效以及随后解释经济指标时，必须考虑到国家和地方背景下的机构目标。有些机场的目标是为投资者或股东带来最大回报，而另一些机构则仅仅只是为了收回提供机场服务和基础设施方面的成本。

如果不考虑经济监管作用，任何有关机场收入和盈利能力的讨论都是以偏概全。机场收益能力是吞吐量和市场特征的功能所在，但这种能力也取决于机场运营所在地的司法管辖区。机场管理人员不仅在安全、安保和环境等方面面临诸多挑战，而且经常也必须遵守管理机场服务定价的经济法规。可以说，关于机场收入的规定、特别是有关向基础设施用户收取费用的规定与财务业绩息息相关。

##### (一) 资本回报率

资本回报率是一项衡量标准，结合了机场收入表和资产负债表的绝大多数因素。资本回报率是衡量盈利能力的有力措施，因为在一个衡量标准中，它不仅考虑了财务年度总收入和总成本的有效管理，还考虑了投入资本。从投资者角度看，资本回报率衡量了债务和股权持有人因提供资本而能获得的收入情况。就股权持有人而言，资本回报率是承担股权风险的回报。以该衡量标准来看，整个行业的实际回报率远低于净利润率。2016年，全球行业整体资本回报率7.3%。然而，发达经济体的机场和位于新兴市场的机场的资本回报率有所不同。新兴市场的机场资本回报率较高。

##### (二) 比较收入

鉴于资本回报率将利息前净利润的相对回报作为投资资本（股本和债务）的比例，资产回报率用于分析相对于总资产净利润。尽管上述两项衡量标准均能表明公司产生最终净利润（税后）的能力，但资产回报率并不考虑公司流动负债，在计算资本回报率时应从其总资产中扣除。因此，资产回报率会低于资本回报率。

已动用资本回报率解决了税息折旧及摊销

前利润回报。已动用资本回报率衡量机场从运营活动中获得回报的能力，而不受税收、固定成本和资本成本的影响。资产回报率和已动用资本回报率之间的主要区别在于分母。资产回报率使用总资产作为分母，而已动用资本回报率则以已动用资本（股东股权和长期债务融资之和）作为分母来计算。

按机场规模分类说明了上述三项衡量标准。收入峰值因机场吞吐量和规模类别而异。总的来说，每年有超过100万人次的运输机场类别中，回报越高。

### (三) 机场财务业绩和机场规模

运输机场规模对其业务有着重要影响。为了满足单次着陆需求，机场需要大量最低投资：在开始回收重大基础设施建设和运营成本前，机场必须达到某个临界值。不论机场所在地区、机场所有权模式、监管模式、政体形式如何，整个行业都是如此。

全球大多数机场规模不大仍然是个问题。客运量主要集中在相对少的机场。机场行业面临着一个难题：虽然整个行业都在营利，但大多数机场实际运营已经出现财务赤字。国际机场协会理事会估计，全球有66%的机场出现净亏损。这些机场中大多数规模都很小，年旅客吞吐量少于100万人次。行业盈利能力集中在旅客吞吐量较高的机场。全球2016年报告中净亏损机场，客吞吐量少于100万人次占92%。

## 五、展望未来

尽管发达经济体经济保护主义有所抬头，2017年全球贸易和航空运输需求增长依然强劲。这些结果很振奋人心，或许说明闭关自守政策并未对整个经济产生影响。

航空运输需求继续沿着自己的轨迹发展，年增长率超过6%。即使考虑到世界某些地区持续存在地缘政治风险，国际旅行和旅游势头依然高涨。2017年，全球GDP增长水平趋于平缓，

客运量继续保持强劲增长，并逐年提高，两者之间差距越来越大。本质上，背后推手都是微观经济因素，并与行业动态直接相关。例如，低成本航空公司犹如雨后春笋，催生发达经济体较高出行趋势，对拥有大量陆地交通基础设施地区（欧洲）的其他出行方式形成挑战。同时，新兴市场越来越成为全球航空市场增长的引擎。

2017年，全球客运量超过80亿人次，预测显示：短期内客运量将继续快速增长，预计复合年增长率为6.5%。

全球货运空运持续增长，平均增长值为7.4%。预计到2018年10月，还将继续增长800万吨航空货物运量。

虽然增长速度较为平缓，飞机起降架次增长速度近年有所加快，短期内仍将保持增长趋势。预计全球飞机起降架次将以每年2.3%的速度稳步增长。

关于机场财务业绩，预计总体行业收入将随着航空出行需求增长而增长。客运量仍将是运输机场收入主要驱动力。以每名乘客为基础计算，收入将继续保持稳定，并预计短期内增长平缓。

尽管商业活动发展较好的运输机场、尤其是发达经济体运输机场的增长趋势会比较平缓，机场业务的非航空方面将在一些主要新兴市场获得发展机会。

就成本而言，尽管信贷市场紧缩可能会增加某些地区运输机场的资本成本和债务融资成本，预计成本会保持平缓增长。

(本文报告人系ACI总干事，译者系中国民用机场协会培训与外联部部长、专业委员会事务部部长)



主管部门：中国民用航空局政策法规司

主办单位：中国民用机场协会

顾问：刘玉梅 邓军 陈建英

编辑委员会：

主任：王瑞萍

副主任：李小梅

编委：孙小丽 马会先 孙德富 宿继承 宋永鑫 侯庆平 杨太东  
刘兆祺 熊德智 高利佳 张伟 张喜成 方庆强 刘绍杰  
杨鹏 路华 王昌生 张林 李宏斌 赵啟江 黄伟宏  
吴洪霄 乔楠 范成功 袁俊兰 杨艳丽

地址：北京市朝阳区花家地东路3号

邮政编码：100102

联系电话：010-64755351

传真：010-64736610

微信公众号：CCAA2006

官网地址：<http://www.chinaairports.org.cn>