

# 新一代运输系统下飞行计划与配载课程建设

杨文东

南京航空航天大学

**摘要** 面向新一代航空运输发展,民航局陆续颁布了《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》CCAR-121-R5-R7版。随着国家最新规定的出台,现有教材和教学内容已不适宜学生培养需要。通过产学研协同育人项目建设,分析飞行计划与配载课程的内涵与外延,编写飞行计划与配载课程的新版教材,建立飞行计划与配载课程良好的授课队伍,形成飞行计划与配载课程的校内教师与行业专家共同打造的线上线下相结合授课模式,建立飞行计划与配载标准答案考试与非标准答案组合的考评体系。

**关键词** 新一代运输系统 飞行计划 配载平衡 产学研协同育人

**DOI** <https://doi.org/10.6938/iie.060106>

**产教融合研究** ISSN 2664-5327 (print), ISSN 2664-5335 (online), 第6卷第1期, 2024年2月出版, Email: wtocom@gmail.com。

## 一、课程建设背景

飞行计划与配载课程是南京航空航天大学一流本科专业交通运输——民航运输管理专业方向的核心课程,该课程相关内容可以为航空运输组织、航空运输生产计划、航空公司运营与管理等课程提供成本分析的测算依据,具有辅助支撑作用。

飞行计划与配载课程包括飞行计划与配载平衡两大部分,飞行计划是指向空中交通服务单位提供有关航空器完成一次飞行的飞行资料。对执行航班飞行的飞机,飞行前要根据当时的气象、机场、飞机情况和有关的限制规定,分析并确定飞行能装载的最大客、货业载量,以及完成该次飞行所需的时间和燃油量;特殊飞行计划还包括最小成本飞行计划、利用燃油差价的飞行计划、双发飞机延程飞行计划、目标机场不能加油飞行计划等;配载平衡是根据业载、油量确保飞机起飞重心、无油重心、落地重心在允许范围之内,两者是航空公司运行控制的重要环节。

## 二、课程建设的特色

### 1. 课程具有良好基础

民航运输管理专业方向的飞行计划与配载课程已开设 12 年，积累了较为丰富的课程资源，取得了良好的教学效果。

### 2. 面向国家最新运行规则

随着国家最新规定的出台，现有教材已不适宜学生培养需要。面向新一代航空运输发展，民航局陆续颁布了《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》CCAR-121-R5-R7 版<sup>[1][2]</sup>。

CCAR-121-R5 当时给了各个承运人（航空公司）2 年 4 个月的过渡期，这期间各航司还可以暂时执行旧版规定，因为 R5 与以往版本相比，做了很大修改，目前新的 R7 版已进入正式实施阶段。结合新的 CCAR-121-R5-R7 的执行，进行课程内容改革和创新，联合企业专家进行教材的撰写。

### 3. 国产大飞机运行需要

以往教材和课件基本以波音制造的飞机、空客制造的飞机为例进行飞行计划的方法及案例讲述。中国已经拥有按照国际民航规章自行研制、具有自主知识产权的大型喷气式民用飞机 C919。2023 年 5 月 28 日，东航圆满完成 C919 首个商业航班“上海虹桥—北京首都”的往返飞行，此后首架 C919 在沪蓉快线上服务旅客。2023 年 7 月 16 日东航正式接收第二架 C919 飞机，商业运营稳步推进。

现有的教材和案例应加入国产大飞机的航线飞行分析、性能分析、飞行计划制作、配载平衡分析以及案例教学，教学内容与课程体系改革迎合了国产大飞机的运行需要。

## 三、飞行计划与配载课程内涵

### 1. 飞行计划

飞行计划有狭义和广义之分。狭义的飞行计划 (Operation control) 是指依据 CCAR121 部《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》的定义，是指合格证持有人使用用于飞行动态控制的系统和程序，对某次飞行的起始、持续和终止行使控制权的过程（是指航空器依靠自身动力运行的整个过程）。而且在 CCAR121.103 条和 CCAR121.395 条以及相应的 AC-121-FS 分别对运控中心和运控人员做出了对应的要求，即合格证持有人，应保证有足够的运控中心和签派人员对每次飞行进行恰当的控制<sup>[3-5]</sup>。广义飞行计划是指对航班运行前、运行中、运行后做全方位的跟踪、控制和服务的过程。广义飞行计划包括运输计划制定、预先飞行计划的申报和批复、航线性能分析的审批、运行风险分析与管控；航班计划申请、航班现场运行保障、航班放行与监控、航班应急处置；航班航后品质分析与优

化等航班生命周期全过程，如图 1 所示。

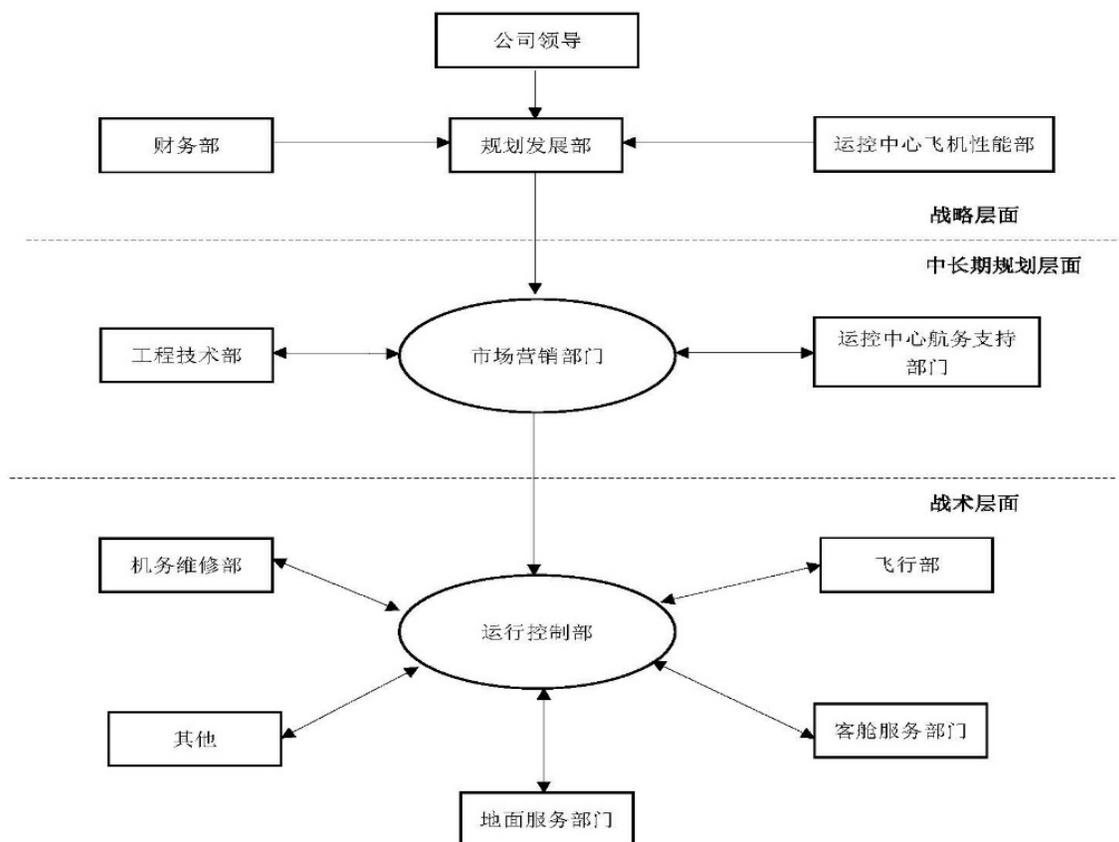


图 1: 广义飞行计划

依据航空规章要求，公司应根据本公司的运行特点，制定既符合国内实际情况，又与国际接轨的公司标准和程序。开展高效的运行控制是公司的责任，也是公司保证安全，提高飞行计划能力，提高公司效益的必要条件。

CCAR-121-R5 R7 规定国内、国际采用统一的燃油剖面。飞行的燃油剖面是有飞机的运动轨迹抽象而成，包括在起飞机场的推出及滑行阶段、爬升阶段、巡航阶段、目的地机场的下降阶段、进近阶段、落地及滑入阶段。在规定备降机场情况下包括目的地机场的复飞爬升阶段、巡航阶段、备降机场下降阶段、等待阶段、进近阶段、备降机场的落地及滑入阶段。具体燃油剖面与备降机场要求、燃油量要求而不同。

## 2. 配载平衡

飞机在地面及空中最重要的是重心在合理的范围之内，以保持飞机停放、滑行、空中

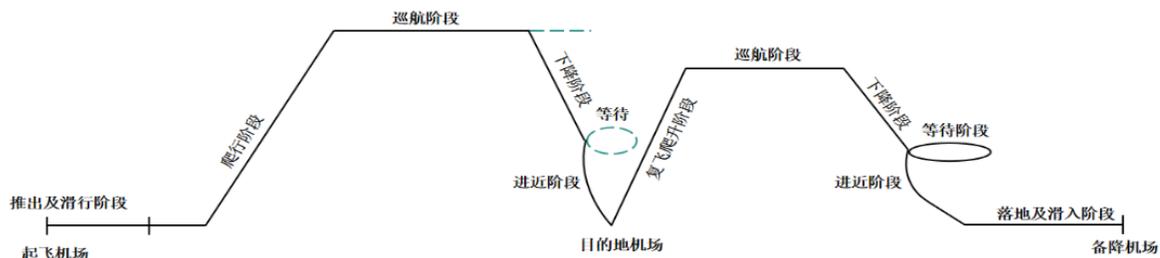


图 2: 飞机燃油剖面

飞行的稳定性和安全性，如果重心偏离过大将会极易导致飞机倾覆、增加飞机起降的危险及增加飞机控制的难度，这与日常生活中搬运物体、骑自行车载物等会存在相类似现象，重心偏离同样会导致增加搬运难度、自行车倾覆及控制难度。

相较于地面，飞机在空中的飞行对重心的要求更高，特别是飞机起飞和降落阶段，因此特别要求飞机的起飞重心和落地重心在允许的范围之内，除此之外对飞机的无油重心也有同样要求。

飞机飞行过程中的平衡主要依据力矩平衡原理。力矩平衡原理是力学中的一个基本原理，它指的是物体在某一点上的力矩和旋转力矩总和为零。也就是说，如果一个物体处于力矩平衡状态，则它的总力矩和旋转力矩都为零。力矩平衡原理是一种基本的物理原理，其应用非常广泛，用于研究物体运动的规律，以及运动物体的稳定性。它主要是通过研究物体在某一点上的力矩来分析物体的运动规律，以及物体在受力时的稳定性，它对于研究物体运动的规律，以及物体受力时的稳定性有重要的意义。

### (1) 飞机受力

施加在飞机上的主要的力<sup>[6]</sup>：

- 重量，施加在飞机 CG (the center of gravity) 上；
- 升力，施加在压力中心 (CP, the center of pressure) 上；
- 推力，由于发动机的动力；
- 阻力。

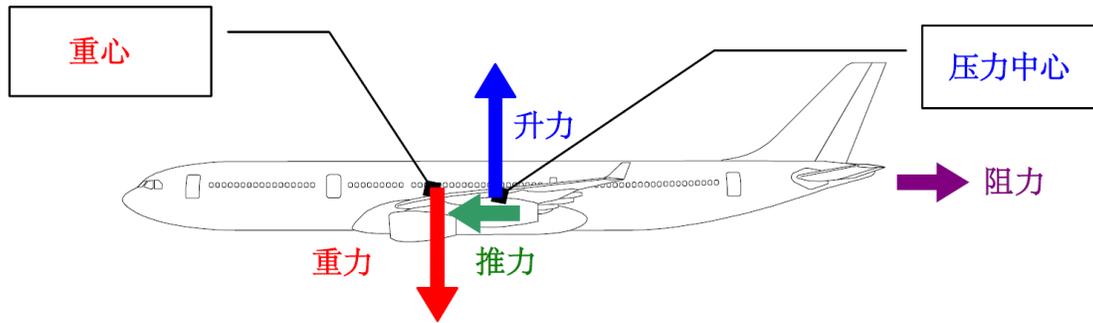


图 3: 飞机受力示意图

(2) 力矩

a. 单个物体的力矩:

$$M = W \times H$$

其中，M 是力矩，W 是物体的重量，H 是物体重心到参考轴的距离。通常情况下，力

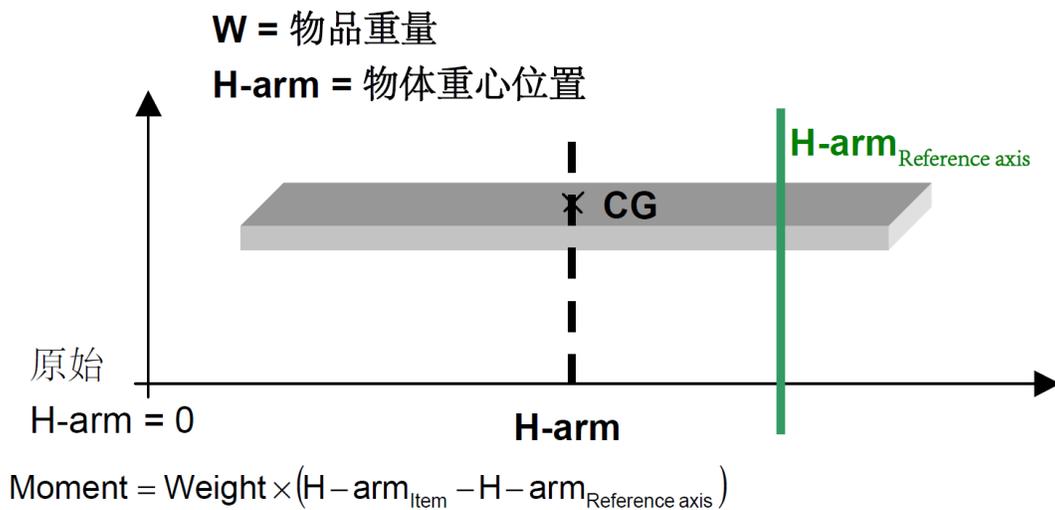


图 4: 力矩示意图

矩 (Moment) 是由一个力乘以距离决定的，力被简化为飞机的质量。由于常用词汇重量 (Weight) 术语而不是质量 (Mass)，因此在行业内一般用重量一词。

b. 组合物体的力矩

飞机重量加业载重量或油量重量类似物体 1+ 物体 2 的叠加。物体 1+ 物体 2 力矩:

$$M_{1+2} = M_1 + M_2$$

其中，M1+2 表示物体 1 与物体 2 组合的力矩，M1 表示物体 1 的力矩，M2 表示物体

2 的力矩。

c. 确定组合的 CG 位置 (物体 (item) + 附加物体 (additional item))

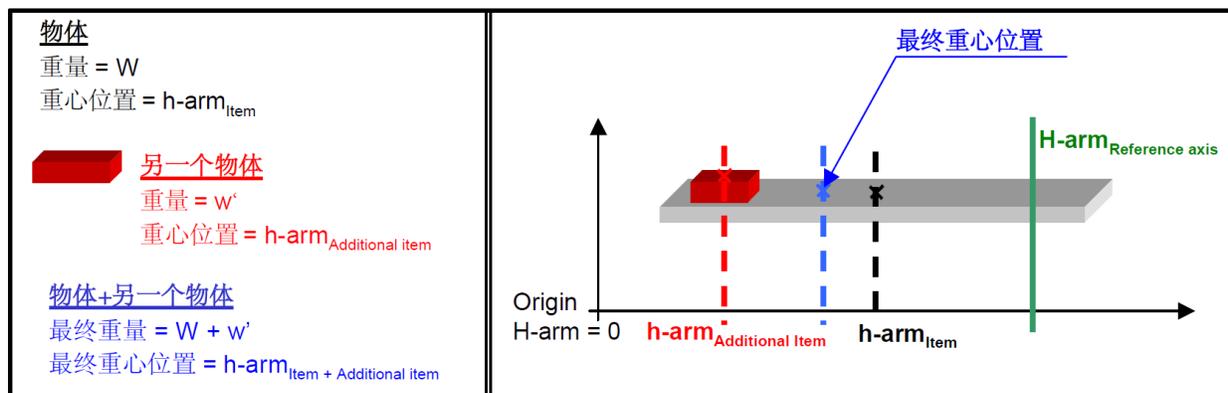


图 5: 物体组合

图 6: 组合物体的力矩

$$H - arm_{\text{item} + \text{Additional item}} = \frac{W \times H - arm_{\text{item}} + W' \times H - arm_{\text{Additional item}}}{W + W'}$$

其中,  $H - arm_{\text{item} + \text{Additional item}}$  是组合物体的力臂, 即最终重心的位置;  $H - arm_{\text{item}}$  是物体的力臂;  $H - arm_{\text{Additional item}}$  是附加物体的力臂。

飞机的力矩平衡分为俯仰力矩平衡、滚转平衡、方向平衡。比较而言, 飞机的滚转平衡与方向平衡相对容易控制, 与飞机重心位置关系最大的是俯仰平衡。

## 四、课程建设目标

1. 在飞行计划与配载课程校级精品课程基础上, 后续不断完善和提高, 往省级及更高层次精品课程目标迈进。
2. 结合新的《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》CCAR-121-R5-R7 的执行, 与企业专家共同撰写并出版最新教材 1 部, 打造一流教材。
3. 建设线上线下相结合的教学模式, 开展混合式教学和翻转课堂, 在激发学生学习兴趣和提高教学效果方面取得实效, 形成独特性的教学方法。
4. 建立飞行计划与配载辅助的非标准答案考试。在标准化答案考试基础上, 逐步引入非标准答案考试, 以此达到激发学生学习的积极性, 提高教学质量的目的。
5. 打造课程主配角色, 形成合理的教学队伍。

## 五、课程建设内容和实施路径

1. 项目建设内容

(1) 结合我国对飞行计划的新要求,及时把学科最新发展成果和教学改革成果融入课程教学,教学内容体现学科前沿,突出学科交叉,丰富现有的教案或多媒体课件。

(2) 结合 CCAR-121-R5-R7 及国产大飞机运行需要,编写适合现代民航业发展需要的教材。因为广义飞行计划包括运输计划制定、航线性能分析的审批、运行风险分析与管控等事前内容;航班现场运行保障、航班放行与监控、航班应急处置等事中内容;航班航后品质分析与优化等航班生命周期的全过程。广义飞行计划更加科学合理,因此新的授课内容与教材按照广义飞行计划组织编写。

(3) 结合正在推广的在线教学方式,与企业专家构建线上线下相结合的教学模式,开展混合式教学和翻转课堂,在激发学生学习兴趣和提高教学效果方面取得实效。

(4) 与企业专家共同研讨过程考核,逐步引入非标准答案考试,实施能力与知识考核并重的过程考核,增加课堂互动、课堂测试、作业测评等平时成绩在总评成绩中的构成比重。综合应用笔试、口试、非标准答案考试等多种形式,全面考核学生对知识的掌握和运用情况。

(5) 与该课程紧密联系的航空运输生产计划课程、航空运输商务课程的任课老师一起协同备课、互为校内教师授课主配角色,再与行业专家一起形成合理的教学队伍。

## 2. 实施路径

(1) 精心制定目标:飞行计划与配载课程的建设必须以学生的学习实际和相关行业的发展特色为准则,以实现民航运输管理专业学生全面发展目标为导向,明确课程的理论性、实践性、创新性和实用素质,重点突出课程的民航运输业、飞机制造业发展和基础理论。

(2) 有效组织资源:根据课程建设的需求和目标,积极借助教育部倡导的深化产教融合、校企合作,充分利用合作企业在多年产教融合过程中形成的优势和经验,有效地组织人员、财力、物力等资源,有针对性地开展飞行计划与配载课程建设工作,建立起有效的管理机制和完善的考核机制。

(3) 科学的课程体系:课程改革要求根据课程建设的目标,科学建立课程体系,体系要集合飞行动力学、运筹学等多学科和知识,形成一个有机统一的完整体系,使学科间教学和学科内教学相互补充、联系和渗透。

(4) 不断完善课程内容:课程改革要求不断深化理论知识,丰富课程内容,充分利用新教育技术、新教学方法,提高精品课程的实践性和独创性,使飞行计划与配载课程具有较强的教育性和社会性效用。

〔责任编辑:〕

**基金项目** 教育部产学合作协同育人项目(2023年第一批):新一代运输系统下飞行计划与配载课程建设(项目编号:230802206265306),南京航空航天大学与港美通科技(深圳)

有限公司合作。

**作者简介** 杨文东,男,1975年6月出生,山东省寿光市人,南京航空航天大学副教授,硕士生导师,研究方向为航空运输规划与管理。通讯地址:江苏省南京市江宁区南京航空航天大学民航学院,邮政编码:211106,Email: ywendong@nuaa.edu.cn, <https://orcid.org/0000-0002-7507-3285>。

**文章记录** 收文:2024年1月13日;修改:2024年1月20日;发表:2024年2月28日。

**引用本文** 杨文东. 新一代运输系统下飞行计划与配载课程建设 [J]. 产教融合研究, 2024, 6(1):57-65, <https://doi.org/10.6938/ie.060106>。

#### 参考文献

- [1] CCAR-121-R5. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则 [S]. 中国民用航空局, 2017.
- [2] CCAR-121-R7. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则 [S]. 中国民用航空局, 2021.
- [3] AC-121-FS-136. 航空承运人不可预期燃油政策优化与实施指南 [S]. 中国民用航空局, 2019.
- [4] AC-121-FS-135. 航空器重量与平衡控制规定 [S]. 中国民用航空局, 2019.
- [5] AC-121-FS-2019-009R2. 延程运行和极地运行 [S]. 中国民用航空局, 2019.
- [6] Customer Services. Getting to grips with weight and balance [M]. Airbus, 2010.
- [7] 傅职忠, 谢春生, 王玉. 飞行计划 [M]. 中国民航出版社, 2012.

## Construction of flight planning and loading courses under the new generation transportation system

Wendong YANG

*Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*

**Abstract** Facing the development of the new generation of air transportation, the Civil Aviation Administration of China has successively promulgated the CCAR-121-R5-R7 version of the "Certification Rules for the Operation of Large Aircraft Public Air Transport Carriers". With the introduction of the latest national regulations, existing teaching materials and teaching content are no longer suitable for student training needs. Through the construction of industry-university collaborative education projects, this paper analyzes the connotation and extension of flight planning and load balancing course, compiles new teaching materials for flight planning and load balancing

course, establishes a good teaching team for flight planning and load balancing course, and forms flight planning and load balancing course. The course's on-campus teachers and industry experts have jointly created an online and offline teaching model, and established an assessment system that combines standard answer exams and non-standard answer exams for flight planning and load balancing.

**Keywords** New generation transportation system; flight planning; load balancing; University-Industry Collaborative Education Program

**Cite This Article** Wendong YANG. Construction of flight planning and loading courses under the new generation transportation system[J]. *Integration of Industry and Education*, 2024,6(1):57-65, <https://doi.org/10.6938/ie.060106>

©The Author(s) and Creative Publishing Co., Limited 2024. *Integration of Industry and Education*, ISSN 2664-5327(print), ISSN 2664-5335(online), DOI 10.6938, Volume 6 Issue 1, published on 28 February 2024, by Creative Publishing Co., Limited, <http://riie.cc>, <http://www.ssci.cc>, Email:wtocom@gmail.com, kycbshk@gamil.com.