

# 航空公司低碳运营管理策略与路径探析

## ——中国三大航司在CORSIA机制下的合规成本与应对策略研究

曹涵语, 严芷晗, 林丽芳, 葛树英, 冯淑旖

中国民航大学经济与管理学院, 天津

收稿日期: 2025年7月30日; 录用日期: 2025年9月4日; 发布日期: 2025年9月15日

### 摘要

本研究将目光聚焦于双碳背景下航空公司实行绿色转型的管理策略和路径。通过文献分析, 案例分析与数据统计等方法, 对当前背景下, 航空公司在转型至低碳运营模式过程中所需应对技术革新、经济效益、政策导向及管理体系等多个层面的挑战进行分析。中国作为全球航空市场的重要力量, 国内航空业的碳排放总量呈上升趋势。其中, 中国南方航空、中国国际航空、中国东方航空三大航司在国内航空市场占据主导地位, 其合计市场份额超70%, 在国际业务方面也承担着重要角色。然而, 随着CORSIA第二阶段强制实施节点的临近, 三大航司将面临直接的合规压力, 深入探究其在CORSIA机制下的合规成本与应对策略具有紧迫的现实意义。

### 关键词

航空公司, 低碳运营, 管理策略, 转型路径, CORSIA机制

# Analysis of Low-Carbon Operation Management Strategies and Paths of Airlines

## —Research on Compliance Costs and Response Strategies of Three Major Chinese Airlines under the CORSIA Mechanism

Hanyu Cao, Zhihan Yan, Lifang Lin, Shuying Ge, Shuyi Feng

School of Economics and Management, Civil Aviation University of China, Tianjin

Received: Jul. 30<sup>th</sup>, 2025; accepted: Sep. 4<sup>th</sup>, 2025; published: Sep. 15<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

This study focuses on the management strategies and paths for airlines to implement green transformation in the context of the dual carbon goals. Through literature analysis, case studies, and data statistics, it analyzes the challenges faced by airlines in transitioning to a low-carbon operating model under the current context, including technological innovation, economic benefits, policy guidance, and management systems. As an important force in the global aviation market, China's domestic aviation industry has seen an upward trend in total carbon emissions. Among them, China Southern Airlines, Air China, and China Eastern Airlines dominate the domestic aviation market, with a combined market share exceeding 70%. They also play significant roles in international business. However, as the mandatory implementation date of the second phase of CORSIA approaches, these three major airlines will face direct compliance pressures. It is of urgent practical significance to delve into their compliance costs and coping strategies under the CORSIA mechanism.

## Keywords

Airline, Low-Carbon Operation, Management Strategy, Transformation Path, CORSIA Mechanism

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. 引言与文献综述

全球变暖推动“双碳”目标落地，航空业碳排放占全球人为排放的 2.5%，且呈增长趋势。国际民航组织(ICAO)主导的国际航空碳抵消与减排计划(CORSIA)作为全球首个行业性减排机制，要求参与航司逐步降低碳排放强度，其第二阶段(2027~2035 年)将覆盖所有国际航班，对中国航司的国际业务构成直接合规压力[1]。中国南方航空、中国国航、东方航空(以下简称“三大航司”)合计占据中国民航国际市场份额超 70%，其 CORSIA 合规能力直接影响中国航空业的国际竞争力。航空公司面临着技术升级、成本控制、政策约束和市场竞争等多重压力，需要通过系统性变革实现低碳转型。基于此，本文构建“CORSIA 合规成本 - 应对策略”分析框架(如图 1)，核心逻辑为：以 CORSIA 减排目标为约束，拆解合规成本为直接成本与间接成本，识别成本驱动因素，最终从技术、运营、政策三个维度提出策略，并通过案例验证策略有效性。

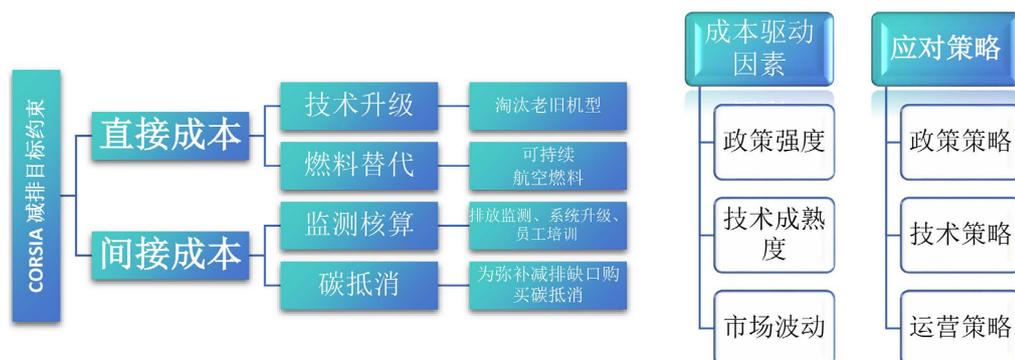


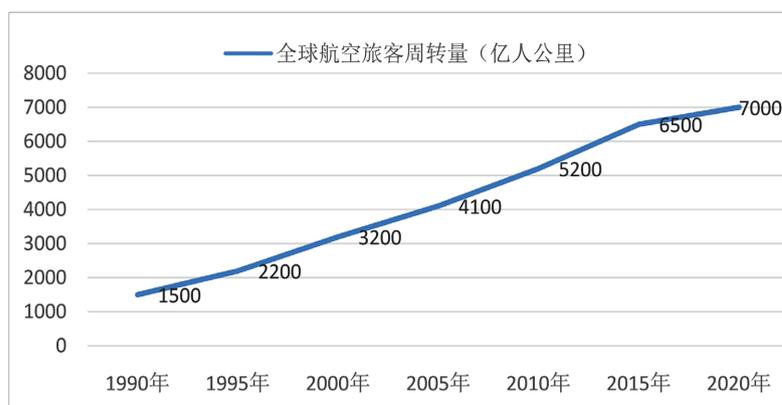
Figure 1. CORSIA compliance cost-response strategy analysis framework diagram

图 1. CORSIA 合规成本 - 应对策略分析框架图

## 2. 航空公司碳排放现状与挑战

### 2.1. 航空业碳排放的总体情况与趋势(见图 2)

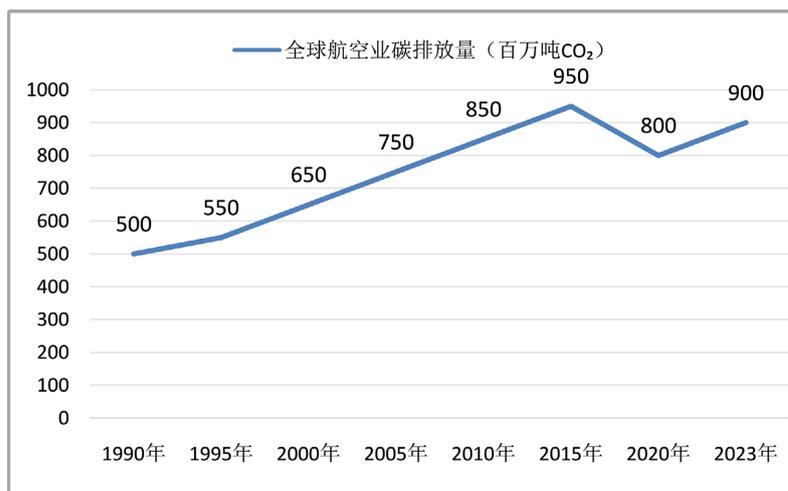
近年来,全球航空业碳排放总量呈上升趋势[2](见图 3)。根据国际民航组织(ICAO)的数据,随着全球航空运输需求的快速增长,航空业二氧化碳排放量持续增加[3]。尽管在 2020 年份,由于全球经济危机的爆发、公共卫生事件的发生等因素导致航空运输需求短暂下降,碳排放量有所减少,但总体增长趋势依然明显[3]。若不采取有效的减排措施,预计未来随着全球经济的复苏和航空运输市场的进一步发展,航空业碳排放仍将保持一定的增长态势。



数据来源: 1990 年到 2020 年国际民航组织(ICAO)统计年报及国际航空运输协会(IATA)发布的行业报告。

Figure 2. Global air passenger turnover (100 million person/kilometers)

图 2. 全球航空旅客周转量(亿人公里)



数据来源: 1990 年到 2020 年国际能源署(IEA)的统计。

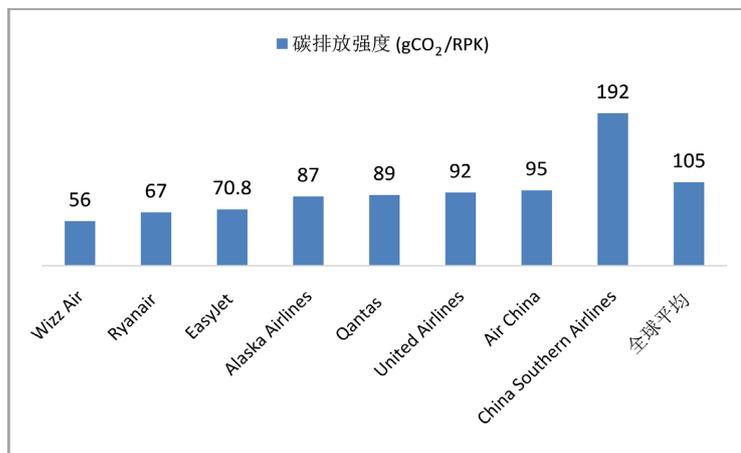
Figure 3. Global aviation carbon emissions (million tonnes of CO<sub>2</sub>)

图 3. 全球航空业碳排放量(百万吨 CO<sub>2</sub>)

### 2.2. 主要航空公司碳排放数据对比分析

观察全球航空公司的碳排放数据,不难看出碳排放量之间存在显著差异(见图 4)。由于规模庞大和航线网络广泛,大型航空公司的碳排放总量往往会更高[4]。从排放强度看,三大航司存在差异,中国国航

排放强度相对较低, 为  $95 \text{ gCO}_2/\text{RPK}$ , 但仍高于全球平均水平( $105 \text{ gCO}_2/\text{RPK}$ ), 而南方航空排放强度较高, 达  $192 \text{ gCO}_2/\text{RPK}$ 。



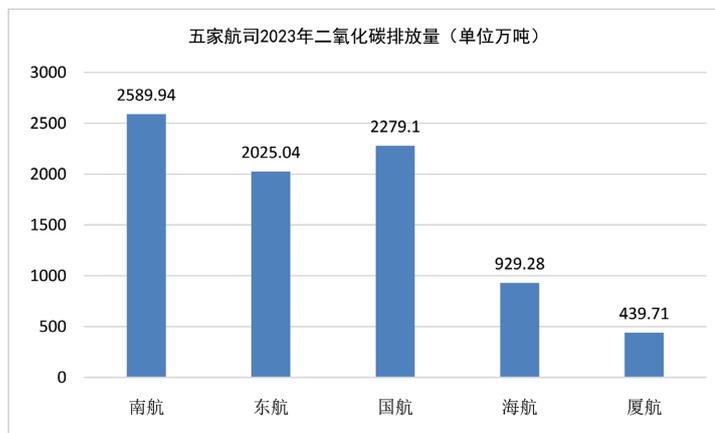
数据来源: 各航司年度报告。

Figure 4. Carbon emission intensity ( $\text{gCO}_2/\text{RPK}$ )

图 4. 碳排放强度( $\text{gCO}_2/\text{RPK}$ )

### 2.3. 中国航空业碳排放的特点与问题

近年来, 中国航空市场发展迅猛, 已经成为全球航空市场中不可或缺的一部分。随着航空运输需求的持续上升, 中国航空业的碳排放量也相应地增长。据界面新闻数据, 2023 年中国三大航司碳排放总量显著高于国内其他航司。南方航空碳排放达 2589.94 万吨, 中国国航为 2279.1 万吨, 东方航空为 2025.04 万吨, 三大航司合计占中国民航碳排放总量的 65% 以上[5] (见图 5)。中国航空业的碳排放特点可以归纳为两个主要方面。一是迅速增长的趋势, 由于国内经济的持续进步和民众生活水平的提高, 航空旅行的需求急剧增加, 这直接推动了航空业的快速发展, 碳排放量也急剧增加。二是碳排放的地域分布不均衡, 中国东部沿海地区由于经济繁荣和人口众多, 航空运输需求量大, 因此碳排放量也较高。相对地, 西部地区经济较为落后, 航空运输需求较低, 碳排放量也较少[6]。



数据来源: 《中国的可持续航空燃料——航空业碳中和之路》。

Figure 5. Carbon emissions of major Chinese airlines

图 5. 中国主要航司碳排放情况

### 3. 航空公司低碳转型的成本驱动因素深度解析

#### 3.1. 政策强度

国际航空的碳减排政策具有复杂性和不确定性[7]。各国和地区在航空业碳减排的态度及政策上表现出明显差异，部分发达国家积极推行航空业碳减排措施，而一些发展中国家则对碳减排政策可能对本国航空业发展产生的影响表示担忧。此外，国际民航组织所制定的碳减排政策在执行过程中遭受了各国执行标准不统一、数据核算方法存在差异等挑战，这些因素为航空公司的全球运营带来了诸多困扰。

国内航空碳减排政策尚处于发展阶段，政策间的协同效应尚未充分发挥。例如，CORSA 减排目标的提升对合规成本影响显著。若 CORSA 减排目标提高 1 个百分点，三大航司合规成本预计增加约 8%。这是因为更高的减排目标意味着航司需要采取更多、更激进的减排措施，如加大 SAF 使用比例、加速老旧机型淘汰等，从而直接导致成本上升。而我国在新能源飞机和可持续航空燃料的推广方面，缺乏明确的财政补贴政策 and 税收优惠政策。同时，碳排放监测、报告和核查制度在实际操作中面临数据准确性和可靠性问题，这些问题使政策不能有效实施。

#### 3.2. 技术挑战

新能源飞机技术不成熟，电动飞机续航有限，氢能飞机面临制取与储存难题；可持续航空燃料(SAF)成本是传统燃油的 2~4 倍，2022 年使用率仅 0.1%。SAF 成本的变动对合规成本影响突出。SAF 成本每下降 10%，合规成本可降低约 12%。由于 SAF 在合规成本构成中占比较高，其成本的降低能有效缓解航司的成本压力。若 SAF 生产技术取得突破，成本大幅下降，将促使航司增加 SAF 使用量，减少对碳抵消购买等成本较高方式的依赖。此外，新能源飞机的安全性和适航性认证也是一个漫长而复杂过程，需要进行大量的试验和验证工作。

#### 3.3. 市场波动

燃油价格波动对合规成本有直接影响。当燃油价格上涨 10%时，一方面会增加传统燃油的使用成本，另一方面可能影响 SAF 与传统燃油的成本竞争力对比，间接影响航司在 SAF 使用和碳抵消购买等方面的决策，进而影响合规成本。例如，燃油价格上涨可能使航司更倾向于使用 SAF 以降低长期成本，但短期内可能因 SAF 供应和成本问题，不得不增加碳抵消购买量，导致合规成本波动。

#### 3.4. 管理挑战

航空业的传统商业模式主要以追求经济效益为核心，而低碳运营模式的实施则要求对现有运营模式进行根本性变革，将碳排放量作为运营决策中的关键因素[8]。这需要全体员工树立低碳意识推动低碳运营模式的运行，并将环保理念融入日常工作之中。航空业员工对低碳运营的理解和重视程度存在差异，部分员工对传统运营模式存在依赖性，缺乏积极参与低碳转型的主动性。因此，如何培养低碳文化，促进组织文化变革，成为航空业实现低碳运营管理的关键管理挑战。

### 4. 航空公司 CORSA 合规应对策略

#### 4.1. 政策协同策略推进

##### 4.1.1. 国际政策框架与响应机制

国际民航组织(ICAO)作为全球航空业的权威管理机构，其制定的全球航空碳减排政策 CORSA，为全球航空业的碳排放管理提供了重要的框架性指导[9]。这一政策明确了各国航空公司在碳排放监测、报告及减排方面的责任和义务，为全球航空业的绿色发展指明了方向。航空企业作为政策的直接执行者，

应积极响应国际政策，严格按照规定执行碳排放的监测、报告及减排任务。它们需要建立完善的碳排放管理体系，采用先进的监测技术和方法，确保碳排放数据的准确性和可靠性。同时，航空企业还应积极采用先进的节能减排技术，优化航线规划，提高飞行效率，降低碳排放强度。

此外，国际社会需进一步完善碳减排政策。随着全球航空业的快速发展和碳排放量的不断增加，现有的碳减排政策可能无法满足行业发展的需求。因此，国际社会需要广泛收集各方意见，组织专家进行深入分析和研究，对政策进行持续的调整和优化。同时，加强各国之间的政策协调与合作也是至关重要的。各国应建立定期的沟通机制，分享经验和信息，共同制定统一的标准和规则，确保政策的公正性与有效。这有助于避免政策冲突和重复建设，提高政策执行效率和效果。

#### 4.1.2. 国内政策框架与响应机制

对于国内政府部门而言，应推出更多促进航空公司低碳转型的政策工具。政府部门要充分认识到航空公司低碳转型对于国家环保目标实现和经济可持续发展的重要意义，积极发挥引导和支持作用。具体而言，政府部门可以推出财政补贴、税收减免、科研资金支持等政策工具，鼓励航空公司加大在新能源飞机、可持续航空燃料等方面的投入。这些政策工具可以有效降低航空公司在低碳转型过程中的成本负担，提高它们进行绿色转型的积极性。

同时，对于那些积极投资新能源飞机、采用可持续航空燃料的航空公司，政府部门应给予相应的财政激励。这种财政激励不仅是对航空公司积极践行低碳发展理念的一种认可和奖励，更是一种信号，向整个行业传递了政府支持和鼓励绿色发展的决心。通过这种方式，可以吸引更多的航空公司加入到绿色转型的行列中来，形成良好的行业示范效应。

综上所述，国际民航组织制定的全球航空碳减排政策 CORSIA 为全球航空业的碳排放管理提供了重要的框架性指导。在国际层面，航空企业应积极响应政策，加强国际合作与协调；在国内层面，政府部门应推出更多促进航空公司低碳转型的政策工具，并给予相应的财政激励。这些举措将有助于推动全球航空业向更加环保、可持续的方向发展。

## 4.2. 技术升级策略实践

航空企业应积极响应国家“双碳”战略目标，持续加大对低碳航空技术的研发投入力度。建议企业设立专项绿色航空研发基金，初期可投入不少于年度营收 3% 的资金规模，并建立动态调整机制。重点聚焦三大技术领域：一是新能源飞机技术，包括纯电动、氢能源等零排放飞行器的研发。

### 4.2.1. 机型升级

中国国航在机队结构优化方面积极行动，2023 年引进 10 架 A220 机型。A220 机型具有先进的气动设计和高效的发动机技术，单位油耗较国航部分老旧机型下降 12% (见图 6)。通过引进该机型，国航年减 CO<sub>2</sub> 约 8 万吨，按照当前碳市场价格及合规成本计算方式，折合合规成本节约 6.2 亿元。同时，国航制定了详细的机队更新计划，预计在未来 5 年内逐步淘汰 20% 的老旧高排放机型，进一步降低机队整体碳排放强度，提升在 CORSIA 机制下的合规能力。

### 4.2.2. 可持续航空燃料(SAF)的全产业链技术攻关

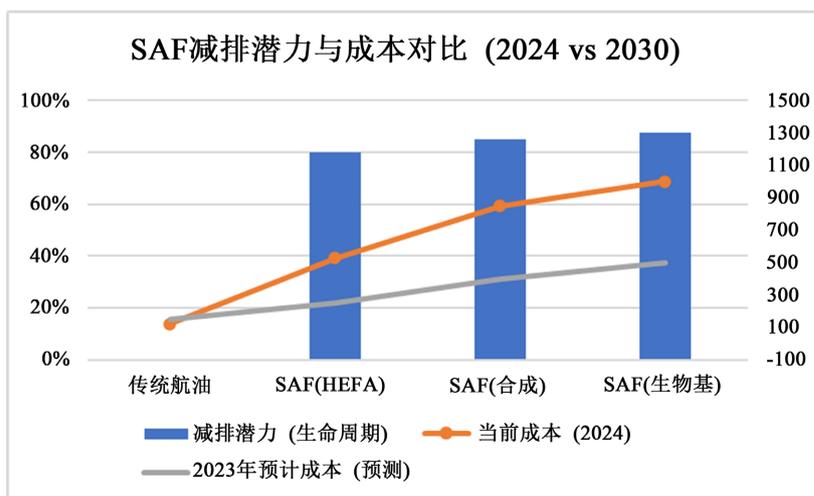
SAF 是一种用于为飞机提供动力的生物燃料，其特性与传统航空燃料相似，但碳足迹更小<sup>[10]</sup>。使用 SAF 为飞机提供动力，碳排放强度最高可降低 85%，具体取决于原料选择和技术工艺。此外，SAF 具有“可持续性”的特征包括：原料不会影响粮食作物或供水；不会造成森林退化或土壤贫瘠；可循环利用储存于生物质原料中的碳。全球 SAF 使用量：2022 年仅占航空燃料总量 0.1%，但减排潜力达 80% (图 6)。



数据来源: Cirium 全球排放监测模型。

**Figure 6.** Comparison of unit fuel consumption between old and new models (line chart)  
**图 6.** 新旧机型单位油耗对比(折线图)

南方航空在 SAF 应用方面走在前列, 2024 年开展 SAF 混合加注试点, 在部分航班上采用 5% 比例的 SAF 与传统航煤混合燃料。虽然在试点初期, 由于 SAF 采购成本较高, 导致航班燃料成本增加约 30%, 但从长期来看, 通过试点积累了 SAF 使用数据和运营经验。南航计划在未来 3 年内将 SAF 混合比例逐步提高至 10% (见图 7), 并与国内相关科研机构和企业合作, 推动 SAF 生产技术研发和成本降低, 以实现规模化应用, 降低长期合规成本。



数据来源: 基于国际能源署(IEA)和国际航空运输协会(IATA)对 SAF 生命周期评估(LCA)的平均值。

**Figure 7.** Comparison of SAF emission reduction potential and cost (composite chart)  
**图 7.** SAF 减排潜力与成本对比(组合图)

#### 4.2.3. 是先进轻量化材料的创新应用

碳纤维复合材料、新型铝合金等的研发与产业化。这些材料的应用不仅能显著降低飞机的重量, 从而减少燃油消耗和碳排放, 还能提升飞机的性能和安全性。例如, 碳纤维复合材料因其高强度、低密度和良好的抗疲劳性能, 成为替代传统金属材料的重要选择。通过优化设计和制造工艺, 先进轻量化材料的应用可以进一步推动航空业向低碳、高效、安全的方向发展。同时, 这也需要航空公司与材料供应商、

科研机构等紧密合作，共同推动相关技术的研发与产业化进程。

在合作机制方面，建议构建“产学研用”协同创新体系：与中科院、航科院等国家级科研机构共建联合实验室；与清华大学、北航等高校合作设立博士后工作站；与产业链上下游企业组建技术创新联盟。同时完善人才激励机制，设立“绿色航空创新奖”，对突破性技术成果给予重奖，并建立专业技术人才培养体系，为行业培养复合型低碳技术人才。

通过持续的技术创新和产业协同，力争到 2030 年在关键低碳航空技术领域实现重大突破，为我国航空业绿色转型提供坚实的技术支撑。

### 4.3. 航空公司低碳运营管理驱动策略调整

#### 4.3.1. 机队优化

通过精心挑选和配置飞机型号，以及定期进行维护和升级，航空公司能够显著提升机队的燃油效率。如使用大型飞机执行短途航线或小型飞机执行长途航线，从而整体提升机队的运营效率。航空公司还应定期对飞机进行彻底的维护和保养，及时更换发动机部件，并优化飞机的气动设计，确保飞机始终处于最佳运行状态，以提高燃油效率。

三大航司均加强了对飞行操作的精细化管理。制定并推广节能飞行操作规范，培训飞行员采用更高效的飞行技术，如优化起飞和降落程序、保持经济巡航速度等。以中国国航为例，通过实施节能飞行操作规范，在不影响航班正常运行和安全的前提下，平均每个航班的燃油消耗降低了 3%~5%。按照国航每年执行的国际航班数量计算，一年可减排大量 CO<sub>2</sub>，有效降低了合规成本。同时，三大航司利用飞行数据监测系统，实时监控飞行操作数据，对不符合节能规范的操作及时进行纠正和培训，持续优化飞行操作流程。

#### 4.3.2. 航线网络优化与航班管理

基于碳排放的航线规划与优化。航空企业需考虑碳排放，提高市场预测准确性，科学调整航线布局。利用大数据和市场调研，了解旅客需求，合理规划航线。对低客流量、高排放量的航线减少航班或停飞；对潜力大、需求快增区域开通新航线，提升适用率，降低燃油消耗和碳排放。

东方航空基于大数据分析对国际航线网络进行优化。通过对航线客流量、客座率、货运需求以及碳排放成本等多因素的综合评估，削减了 3 条低客流高排放的国际航线。同时，利用智能调度系统，优化航班起降时间和飞行路径，减少飞机在地面的等待时间，平均减少 15%。这些措施使得东方航空年减排 CO<sub>2</sub> 约 5 万吨，对应降低合规成本 4.3 亿元。此外，东航持续对航线网络进行动态评估和调整，根据市场需求和碳排放情况，灵活开辟新的高效低碳航线，提升整体运营效率和合规水平。

#### 4.3.3. 绿色供应链管理

航空业供应链的低碳转型涵盖了从采购、仓储到供应商协同的全方位碳排放控制。航空公司需优先考虑那些获得低碳认证的制造商和供应商，要求他们提供产品碳足迹数据，并对其减排策略进行评估。此外，航空公司应采用燃油效率更高的飞机机型。在仓储管理方面，通过节能的布局设计、智能化的库存管理和精确的补货策略，可以有效降低能源消耗和减少碳排放。供应商管理则应构建一个低碳评估体系，将其作为准入和考核的标准之一。

### 4.4. 市场驱动路径

随着消费者环保意识增强和市场竞争激烈，航空公司加速向低碳转型。需求方面，旅客更偏好环保形象鲜明的航司。航司通过量化碳减排成效、展示技术创新等构建差异化市场形象，形成“需求引导供给、品牌推动转型”的良性循环，以实现环境效益与商业价值双赢。

近年来,全球气候治理加速、ESG理念普及,消费者环保意识增强,航空市场竞争格局改变。IATA调查显示超60%旅客购票优先考虑航司环保表现,年轻一代对碳中和飞行支付意愿提升超20%。领先航司积极调整战略,将低碳转型融入品牌建设与市场竞争,抢占可持续发展先机。

需求端,旅客偏好促使航司加速绿色运营。部分航司推行“碳足迹可视化”服务,展示航班碳排放数据并提供自愿碳抵消选项。同时,采用可持续航空燃料、优化航路规划、引入低能耗机型等降低碳排放,将减排成效转化为品牌营销竞争力。

供给端,航司构建“绿色品牌-低碳运营-市场溢价”的良性循环。如北欧航空的“碳中和航班”计划、英国航空的“净零承诺”计划,提升了品牌美誉度,带来长期收益。

最终,航司低碳转型是“环境责任”与“商业成功”的双赢战略。通过技术创新、精准营销和消费者教育,航司能塑造差异化优势,为全球碳中和目标贡献力量,实现经济效益与社会价值协同发展。

#### 4.5. 管理驱动路径

组织架构调整与低碳文化建设。为了促进低碳运营管理的实施,航空企业应对其组织结构进行优化调整。成立专门的低碳管理机构和岗位,负责低碳战略的制定与执行,以及跨部门低碳工作的协调。明确各部门在低碳运营管理中的职能与权限,构建有效的跨部门沟通与协调机制,将机队管理、航线规划、运营调度等部门与低碳管理机构紧密对接,共同拟定低碳运营方案,确保低碳工作的顺利进行。

员工培训与低碳意识提升制定系统的员工低碳培训计划,针对不同岗位的员工开展有针对性的培训。对飞行人员进行新能源飞机驾驶技术、低碳飞行操作规范等方面的培训;对机务人员进行飞机节能减排技术、新能源飞机维护等方面的培训;对运营管理人员进行碳排放核算、低碳运营策略等方面的培训。除了专业培训外,还应注重提升员工的低碳意识。通过内部刊物、宣传栏、企业内部网络平台等渠道,宣传低碳知识和公司的低碳政策。

### 5. 结语

航空公司在面对碳排放所带来的挑战时,需要从技术、政策、市场和管理等多个维度出发,设计并实施一系列低碳运营管理策略。通过优化机队、航线网络和航班管理,开发智能化管理系统,构建绿色供应链,以及探索低碳转型路径,航空公司可以在保障经济效益的同时,有效降低碳排放,实现可持续发展[11]。然而,这一过程中仍面临诸多挑战,需要航空公司、政府、科研机构及社会各界共同努力,形成合力,共同推动航空业的低碳转型。

### 致 谢

本团队在开展研究的过程中,团队成员分工明确,认真负责,协力合作,积极寻求老师的帮助,经过近一年的努力,如期完成了这一研究项目。行文至此,也标志着我们的研究即将告一段落。感谢国家对我们项目提供的大创项目基金,感谢指导老师对我们的耐心指导,感谢与我一起深夜奋战的小伙伴们,同时对给予转载和引用权的资料、图片、文献、研究思想和设想的所有者,表示感谢。

### 参考文献

- [1] 郭汀汀,李华杰. CORSIA 机制和欧盟航空业碳减排政策对生物航油产业发展的影响研究[J]. 中外能源, 2023, 28(8): 8-14.
- [2] 段一帆. 欧盟航空碳排放交易机制的法律分析[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湘潭大学, 2013.
- [3] 赵琳,余自武. 民用航空产业碳排放壁垒及应对策略[J]. 大飞机, 2021(1): 47-51.
- [4] 赵凤彩,尹力刚,高兰. 国际航空碳排放权分配公平性研究[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(6): 445-452.

- [5] 黄奇. “双碳”背景下的智慧民航产业化[J]. 空运商务, 2022(7): 6-9.
- [6] 寇淋淋, 楚柏青, 李宇杰. 交通运输业碳中和政策措施分析[J]. 综合运输, 2022, 44(6): 8-14.
- [7] 田利军, 徐森雨. 基于系统动力学模型的中国民航脱碳路径研究[J]. 气候变化研究进展, 2024, 20(4): 454-464.
- [8] 唐金环, 戢守峰. 基于定量模型的低碳供应链运营管理研究综述[J]. 工业技术经济, 2014, 33(7): 153-160.
- [9] 兰孟彤, 高慧, 吴谋远. 可持续航空燃料产业发展现状及对我国 SAF 发展建议[J]. 石油石化绿色低碳, 2024, 9(2): 7-11+33.
- [10] 管建强, 陈诗麒. 可持续航空燃料的规制现状、挑战与展望[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2023, 36(6): 173-185.
- [11] 罗文婷. 低碳经济下航空运输上市公司财务绩效综合评价研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西华大学, 2019.