

考虑环境因素的货运航线网络优化设计

山秋月, 吴永强, 黄春丽, 杨玉蓉

(中国民用航空飞行学院机场工程于运输管理学院, 四川 广汉 618307)

摘要: 针对传统货运航线网络设计中仅考虑经济目标而忽视环境影响的问题,在绿色民航的背景下,提出一种综合考虑经济目标 and 环境影响的货运航线网络优化方法。基于多分配严格枢纽航线网络,以经济成本、 CO_2 、 CO 和 NO_x 排放量最小为目标,构建相应的数学模型。采用线性加权和法与分支定界法结合案例求解。结果显示,不同优化目标下的航线网络结构存在一定差异,难以同时达到最优。与仅考虑经济成本的求解方案相比,采用本文的综合求解方案,能够实现经济效益和环境效益间的较好均衡。

关键词: 航空货运; 枢纽航线网络; 环境影响; 优化设计

中图分类号: U8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)14-0205-05

随着民航业的快速发展,航空器排放的气体污染物对大气环境的影响愈加凸显,加剧了全球气候变暖。而我国作为航空大国,承担着重要的节能减排使命。尽管政府已推出一系列政策,但现有手段相对单一,主要依赖技术手段。因此,基于航线网络对航空公司运营活动的决定性影响,本文将环境问题与航线网络设计相结合,提出科学合理的货运航线网络设计方案,并为运输活动选择合适机型和航班频次。从公司运营的角度减少气体排放量,促进航空货运业绿色化转型,为航空业的可持续发展提供了新的思路 and 方向。

目前国内外有关航空公司枢纽航线网络优化设计的研究已取得丰富成果。从研究体来看涵盖了客运和货运两大领域。客运网络由于发展较早,已形成成熟的研究体系^[1-5]。相较而言,货运网络研究较少,这与航空货运业快速增长的趋势形成了鲜明对比。近年来越来越多学者开始聚焦于货运航线网络的优化设计问题,借鉴客运网络设计方法,以经济成本最小为目标,专注于枢纽点的选择与航线的连接。Crainic^[6]以运输成本最小化为目标,提出了综合考虑枢纽选择,货运路线选择和航班选择的数学模型,提高了整体效率,为货运航线网络设计提供了新思路。Yang^[7]在传统研究的基础上,提出货运需求的季节性波动,传统的静态分析不足以准确预测市场变化,提出一个考虑需求变动的两阶

段随机网络设计模型。分析指出引入需求波动因素后能够构建出更稳定的货运网络结构。Wang S 等^[8]考虑了客户时间敏感性,基于飞机腹舱直接运输、中转运输和全货机中转运输三种方式,以运输成本最小为目标,建立了货运航线网络优化模型,指出在货运需求量较低时,飞机腹舱运输方式可有效满足需求,但随着需求量的增长,全货机中转运输则具有明显优势。Li 和 Guo^[9]将航线网络设计与机队运力配置问题巧妙结合,提出了一个考虑货运航线网络设计和机队航线选择的航空货运综合模型,实现了航线规划与机队配置的有效整合,为航空货运业的优化运营提供了新的视角。在国内,货运航线网络研究逐渐兴起。杨忠振等^[10]结合实际,考虑全货机运输和客机腹舱运输这两种方式,设定全货机用于枢纽干线运输,构建具有点对点式与枢纽式混合特征的货运航线网络优化模型,用于货运航线网络的优化设计,该研究适用于全货机机队规模较小的航空公司,侧重于全货机的配置。闫妮等^[11]考虑联盟环境下的枢纽选址问题,分析指出航空公司选择航线联营能够极大降低成本,提高运营效益。黄佳敏^[12]结合实际以经济成本最小化为目标,考虑飞机航线路径、最大载重量、可用数量和运行总时间等因素,构建数学模型对货运航线网络进行优化设计。

由上述研究可以得出,长期以来经济成本的最

收稿日期: 2024-04-14

作者简介: 山秋月(1997—),女,四川德阳人,硕士研究生,研究方向为民航运输管理;通信作者吴永强(1987—),男,四川峨眉人,博士,副教授,研究方向为民航运输管理;黄春丽(2000—),女,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为民航运输管理;杨玉蓉(2000—),女,江苏无锡人,硕士研究生,研究方向为民航运输管理。

小化一直是枢纽航线网络优化设计的核心目标。航空公司旨在通过优化航线网络来降低运营成本,提升经济效益,从而在市场中获得竞争优势。然而,随着航空运输业的持续发展,航空气体排放问题已成为全球关注的焦点。因此,越来越多的研究开始聚焦于航空气体排放问题,将其作为枢纽航线网络优化设计的重要目标,以平衡经济效益与环境影响。Braun 等^[13]在航线网络设计中,除了考量传统的经济成本,还关注了 CO₂ 等温室气体的排放问题,分析指出航空公司考虑环境影响并据此调整航线网络结构,能有效提升航空公司的竞争力。Parsa 等^[14]从经济与环境双重目标出发,综合经济成本和航空排放,构建了一个多目标混合整数规划模型,运用美国航空数据测试模型,指出在航空燃油价格为每加仑 3.1 美元和 2 美元的情境下,采用文中的航线网络构建方法,可以使累积的 CO₂ 排放量减少 8%~10%。这不仅彰显了航线网络优化在降低碳排放方面的潜力,也显示出航空业能够在追求经济效益的同时,更好地实现环境保护目标。Kim 和 Choi^[15]深度分析了欧盟碳交易体系对航线网络设计的影响,指出随着环保标准的提高,碳排放成本已成为航空公司运营成本的重要部分,对航空公司的航线网络和利润结构会产生一定的影响。Sun 等^[16]研究了枢纽航线网络的环境影响及外部成本,对比分析了点对点式航线网络和枢纽航线网络的环境效应。结果显示,点对点式航线网络的 CO₂ 排放总量是枢纽航线网络的 2.81 倍,前者在环境污染方面的影响远高于后者,体现出枢纽航线网络在环保方面的优势。在国内,李超等^[17]深入研究了枢纽网络的绿色优化问题,以运输成本和 CO₂ 排放量最小为目标,分析发现在运输成本提高小于 1% 的前提下,可实现 CO₂ 排放量降低 3%~5% 的优化效果。孙梦圆^[18]在研究中综合考虑了航线网络的经济成本、旅客满意度和碳排放量因素,对客运航线网络优化问题进行研究,创新性地设计了绿色枢纽航线网络优化设计平台,实现了平台的可视化展示。

综上,目前枢纽航线网络的研究虽已取得显著成果,但主要集中在客运领域,对货运航线网络的关注与研究相对不足。随着航空货运业的蓬勃发展,对货运航线网络优化设计的需求愈发迫切。然而,现有的货运航线网络研究相对匮乏,缺乏可供货运航空公司参考借鉴的理论支持,这在一定程度上制约了货运航线网络的优化与发展。并且在现有的货运航线网络研究中,多数聚焦于经济成本的

最小化,如运输成本和枢纽建设成本等,而对环境因素的考虑相对较少。这与当前倡导的“绿色民航”发展理念存在一定的偏差,限制了货运航线网络在可持续发展方面的潜力。基于此,本文聚焦于货运航线网络,考虑经济因素和环境因素,对其进行优化设计,为货运航空公司构建绿色经济的航线网络提供理论参考。

1 问题描述

在货运航空公司规划服务范围内,已知 n 个城市, $n(n-1)$ 个 O-D 货流,可用机型 u 及其数量 q_u 等参数。基于多分配严格枢纽航线网络,在经济成本的基础上,考虑环境影响,在目标函数中引入 CO₂、CO、NO_x 等气体排放物的考虑,并以更接近实际成本的航班运营成本取代传统的单位运输成本和折扣因子。从经济成本和环境因素两方面入手,研究货运航线网络的设计问题。从 n 个城市中选取 p 个城市作为枢纽,并确定各城市间的连接方式和相应的经济成本和气体排放量。

2 模型提出

2.1 假设条件

(1)在航线网络中,从起点 i 至终点 j 的货运输过程中,途经的中转枢纽点不超过两个。因为相关研究表明,转运次数控制在 1~2 次效果最佳^[19]。

(2)不考虑机场和航路容量限制,因为国内航空货运主要依赖夜航,与运输高峰错峰,机场和航路容量相对充足^[20]。

(3)航班运营成本仅考虑燃油费、起降费和航路费,不计入飞机折旧、维修、保险等费用。因为这些费用难以精确计算,且在货运航班运营中占比相对较小^[20]。

(4)不考虑载重率、飞行高度、天气对燃油消耗的影响,仅考虑机型和飞行距离。实际飞行中,各航班的载运量、飞行高度、天气状况难以获取,且机型和飞行距离对燃油消耗的影响更为显著^[21]。

(5)各机场起降费用相同,仅由各机型最大起飞全重决定。因为据《民用机场收费改革实施方案》显示我国机场对同机型起降费用差距小,差异主要源于不同机型最大起飞全重。

2.2 符号说明

(1)集合。 N 为航线网络中所有拟运营城市节点集合; M 为备选枢纽点集合, $M \subseteq N$; U 为飞机类型的集合。

(2)参数。 w_{ij} 为从始发点 i 到目的点 j 的货运需求量, kg, 当 $i=j$ 时, $w_{ij}=0$; F_k 为当点 k 确定为

枢纽点时折算到一定时段的枢纽建设成本,元; c_{ij}^u 为机型 u 在 i 到 j 航节上单次执飞的航班运营; s_{ij} 为 i, j 航节上利用其他航司运力托运货物的单位运价,元/kg; b_k 为货物在枢纽点 k 中转时的单位中转费用,元/kg; G_{1ij}^u 为机型 u 飞机单次执飞 i, j 航节时所产生的 CO_2 排放量,kg; G_{2ij}^u 为机型 u 飞机单次执飞 i, j 航节时所产生的 CO 排放量,kg; G_{3ij}^u 为机型 u 飞机单次执飞 i, j 航节时所产生的 NO_x 排放量,kg; h_{ij}^u 为机型 u 飞机在 i, j 航节上的单次执飞时间,h; t_u 为机型 u 机队的可用时间,h; q_u 为机型 u 总的飞机架数,架; ϵ_u 为机型 u 在枢纽点的中转衔接时间,h; r_u 为机型 u 飞机的最大载重量,kg。

(3)变量。 β_{ij} 为 i, j 航节上全货运航空公司自有运力无法满足运输需求,需利用其他航司运力来运输的货物量,kg; v_{ij} 为 i, j 航节上货运航空公司自有全货机过剩的运力,kg; θ_{ij} 为 i, j 航节上所需载运的货物量,t; y_{ikmj} 为始发点为 i 依次经过枢纽点 k 和 m 进行中转最终到达目的点 j 的货运量占 w_{ij} 的比例; f_{ij}^u 为机型 u 在 i 到 j 航节上的飞行航班频次,班; x_{ik} 为 0~1 变量,当节点 k 被选为枢纽点时为 1,否则为 0, $i=k, i, k \in N$; x_{ik} 为 0~1 变量,当节点 i 和 k 相连时为 1,否则为 0, $i \neq k, i, k \in N$ 。

2.3 模型构建

(1)目标函数:

$$\min z_1 = \sum_{k \in M} F_k x_{kk} + \sum_{u \in U} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij}^u f_{ij}^u + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} s_{ij} \beta_{ij} + \sum_{k \in M} b_k \left[\sum_{i \in N, i \neq km \in M, j \in N, j \neq k} \sum_{i \in N, i \neq kj \in N, j \neq k} w_{ij} (y_{ikmj} + y_{imkj}) - \sum_{i \in N, i \neq kj \in N, j \neq k} w_{ij} y_{ikmj} \right] \quad (1)$$

$$\min z_2 = \sum_{u \in U} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} G_{1ij}^u f_{ij}^u \quad (2)$$

$$\min z_3 = \sum_{u \in U} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} G_{2ij}^u f_{ij}^u \quad (3)$$

$$\min z_4 = \sum_{u \in U} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} G_{3ij}^u f_{ij}^u \quad (4)$$

(2)约束条件:

$$\sum_{k \in M} x_{kk} = p \quad (5)$$

$$\sum_{k \in N} \sum_{m \in N} y_{ikmj} = 1, \forall i, j \in N \quad (6)$$

$$x_{ii} + x_{kk} \leq x_{ik} + 1, \forall i, k \in N \quad (7)$$

$$x_{ik} \leq x_{ii} + x_{kk}, \forall i, k \in N \quad (8)$$

$$x_{kk} = 1, \forall k \in N \quad (9)$$

$$y_{ikmj} \leq x_{kk}, \forall i, k, m, j \in N \quad (10)$$

$$y_{ikmj} \leq x_{mm}, \forall i, k, m, j \in N \quad (11)$$

$$y_{ikmj} \leq x_{ik}, \forall i, k, m, j \in N \quad (12)$$

$$y_{ikmj} \leq x_{mj}, \forall i, k, m, j \in N \quad (13)$$

$$\theta_{ij} = 0, i = j, \forall i, j \in N \quad (14)$$

$$\sum_{k \in N} \sum_{m \in N} (\omega_{im} y_{ikmj} + \omega_{km} y_{ikmj} + \omega_{kj} y_{ikmj}) = \theta_{ij}, \quad i \neq j, \forall i, j \in N \quad (15)$$

$$\sum_{u \in U} r_u f_{ij}^u + z_{ij} - v_{ij} = \theta_{ij}, \forall i, j \in N \quad (16)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} h_{ij}^u f_{ij}^u + (\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} f_{ij}^u - q_u) \epsilon \leq t_u, \forall u \in U \quad (17)$$

$$y_{ikmj} = 0, i = j \text{ 或者 } i \neq k, i = m$$

$$\text{或者 } k \neq m, k = j, \forall i, k, m, j \in N \quad (18)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\}, y_{ikmj} \in [0, 1], z_{ij}, v_{ij}, \theta_{ij} \geq 0,$$

$$f_{ij}^u \geq 0, \text{ 且为整数}, \forall i, k, m, j \in N \quad (19)$$

模型中,式(1)~式(4)为目标函数,式(1)表示货运航线网络中的枢纽建设成本、航班运营成本、委托运输和中转运输成本综合最小;式(2)~式(4)分别表示货运网络中的 CO_2 、 CO 、 NO_x 排放量最小;式(5)表示从 n 个点中选择 p 个作为枢纽点;式(6)保证所有货物运输需求均得到满足;式(7)和式(8)为多分配严格枢纽航线网络的特点,枢纽点间互通,非枢纽点不能直连,且非枢纽点可以与多个枢纽点连接;式(9)表示根据航空公司实际需求,预先确定为枢纽的城市节点;式(11)~式(13)表示任意的货物流只能经过枢纽点进行中转,且该路径必须存在才可向其分配流量;式(14)和式(15)对任意 i, j 航节所需载运的货物量计算;式(16)保证任意 i, j 航节的运力需要满足运输需求;式(17)为机队运力限制,其夜间飞行时间与中转衔接时间不可超过其夜间可用时间限制;式(18)为避免迂回运输,不向迂回路线分配货流量;式(19)为对变量的限制。

3 算例分析

选取顺丰货运航空公司为例,从闫妍^[19]获得其在武汉、上海、北京、深圳、广汉、成都、杭州、西安、长沙、郑州、海口、沈阳这 12 个城市的货运数据,其中武汉花湖机场作为其打造的全国货运枢纽,提前设定为枢纽机场,航距采用 Flight Aware 网站显示的直线飞行距离表示。公布运价从中国货运航空和南航物流官网上查询获得,枢纽建设成本和各点的中转费用根据唐国友^[20]并结合各地区的发展水平进行设置,各机型的起降和航路费用根据关于民航局官网发布收费标准的设置,各机型的航班运营成本为起降费、航路费和燃油费之和,燃油费用由燃油消耗量乘以当前燃油单价 7.5 元/kg。其中各机型在航节上的燃油消耗量以及 CO_2 、 CO 、

NO_x 排放量结合李倩茹^[23]利用欧洲环境署(Euro-pean Enviornment Agency, EEA)所提供的计算程序进行估算。各机型的单次中转衔接时间设定为1 h。表1为该公司机队相关数据,表2为相关成本数据。

采用线性加权求和法和分支定界法,设定 z_1 、 z_2 、 z_3 、 z_4 的权重分别为0.40、0.30、0.15、0.15,利用lingo软件求解。当枢纽个数设定为 $p=3$ 时,不同目标下的求解结果如表3示。其中1~12号数字分别对应上文的武汉、北京等城市,括号内的数字表示枢纽城市,括号外的数字表示与之连接的非枢纽城市。

由表3求解结果分析,可得到如下结论。

(1)不同优化目标下的枢纽选址结果和航线连接方式有所差异,相应的总成本和各项气体排放量也有不相同,即意味着各子目标间具有一定冲突,难以同时达到最优。航空公司需要结合实际在经济目标 and 环境目标间综合考量。

(2)综合最优方案与仅考虑经济成本的方案相比成本约1%,实现CO₂减少约5%、CO减少为7%、NO_x减少约1%。从表4中可以看出采用本文的求解方案适当增加经济成本,可以较好地减少气体排放量,实现经济和环境目标的较好均衡。

(3)结合运力配置结果来看,无论从经济目标还是气体排放目标来看,枢纽干线作为连接各城市节点的关键通道,承担着大量的货物运输任务,因此在枢纽干线上更倾向于配置B767和B757等载运量较大的机型。而支线航节通常连接的是较小的城市或地区,运输需求相对较小,因此支线航节较多选择B737等载运量较小的机型。

4 结语

在绿色民航的发展需求下,针对传统货运航线网络设计中忽视环境影响的问题进行改进。在经济成本的基础上,基于CO₂、CO、NO_x这3种气体的危害性,将其考虑到航线网络设计中,构建多目标

表1 机队相关数据

机型	最大载重/kg	可用时间/h	飞机数量/架	航路费/(元·km ⁻¹)	起降费/(元·架次 ⁻¹)
B737	19 731	42	6	0.39	1 590
B757	39 000	108	12	0.52	2 932
B767	52 700	36	4	0.52	3812

表2 成本数据

城市	枢纽建设成本/(元·d ⁻¹)	货物中转成本/(元·kg ⁻¹)
北京、上海、深圳、广州	40 000	1.3
杭州、成都、武汉、长沙	35 000	1.1
郑州、西安、沈阳、海口	30 000	0.9

表3 不同目标下的求解结果

优化目标	网络设计方案	总成本/元	CO ₂ /kg	CO/kg	NO _x /kg
z_1	1(2,5,7,8,9,10,11), 3(2,5,6,12),4(2,5,6)	2 724 352	656 866	615	2 583
z_2	1(2,5,7,8,9,10,11), 3(2,5,6,12),4(5,6)	2 750 842	623 963	574	2 555
z_3	1(2,5,7,8,9,10,12), 3(2,5,6),4(5,6,11)	3 491 780	788 869	509	3 684
z_4	1(5,7,8,9,10,12), 3(2,5,6),5(2,4,6,11)	3 093 819	715 535	787	2 312
综合最优	1(2,5,7,8,9,10,11), 3(2,5,6,12),4(5,6)	2 750 842	623 963	574	2 555

表4 多目标下的运力配置方案

枢纽点(1,3,4)	航节	B737	B757	B767	航节	B737	B757	B767
支线航节 (汇运)	2-1	1	0	0	3-2	1	0	0
	5-1	1	0	0	5-2	1	0	0
	7-1	1	0	0	6-3	1	0	0
	8-1	0	1	0	12-3	0	1	0
	9-1	0	1	0	5-4	1	0	0
	10-1	1	0	0	6-4	0	1	0
	11-1	1	0	0				
干线航节	1-3	1	0	1	3-1	1	0	1
	1-4	0	0	1	4-1	0	0	1
	3-4	0	1	0	4-3	0	1	0
支线航节 (转运)	1-2	1	0	0	2-3	1	0	0
	1-5	1	0	0	5-3	1	0	0
	1-7	1	0	0	6-3	1	0	0
	1-8	0	1	0	12-3	0	1	0
	1-9	0	1	0	4-5	1	0	0
	1-10	1	0	0	4-6	0	1	0
	1-11	1	0	0				

航线网络优化模型。结合案例分析指出,本文所构建的综合模型能够在经济成本增加 1% 的情况下,实现 CO₂ 减少约 5%、CO 减少为 7%,NO_x 减少约 1%,实现经济目标和环境目标间的较好均衡,为货运航空公司的绿色经济化发展提供了理论参考。但本文在模型构建中设定货运需求、航班运营成本等因素是确定的。在实际中这些因素存在一定的变动性,因此在之后的研究中可以进一步考虑变动因素下的货运航线网络设计问题。

参考文献

- [1] ALUMUR S A, NICKEL S, ROHRBECK B, et al. Modeling congestion and service time in hub location problems[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2018, 55: 13-32.
- [2] 姜雨, 李绍嘉, 戴垚宇, 等. 航线网络连接驱动因素分析[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23 (28): 12282-12290.
- [3] 张培文, 杜福民, 赵文科. 中小机场航线网络结构及连接特性分析[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22 (2): 765-772.
- [4] ROOZKHOSH P, MOTAHARI F N. Designing a new model for the hub location-allocation problem with considering tardiness time and cost uncertainty[J]. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 2023, 18(1): 36-50.
- [5] 汪瑜, 温国兵, 雷迪, 等. 双层规划模型下的机场航线网络优化设计[J]. *交通科技与经济*, 2023, 25(2): 24-31.
- [6] CRAINIC T G. Service network design in freight transportation[J]. *European JOURNAL of OPERATIONAL RESEARCH*, 2000, 122(2): 272-288.
- [7] YANG T H. Stochastic air freight hub location and flight routes planning[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2009, 33(12): 4424-4430.
- [8] WANG S, TAO F, SHI Y. Optimization of air freight network considering the time window of customer[C]// 7th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM). Qxford: IEEE, 2018: 304-308.
- [9] LI X, GUO M. Airline freight network design and fleet assignment with transshipments[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2021, 42(10): 2136-2149.
- [10] 杨忠振, 于述南, 陈刚. 混合式航空货运网络优化[J]. *交通运输工程学报*, 2016, 16(1): 103-114.
- [11] 闫妍, 张锦, 唐秋宇. 航线联盟下航空货运网络枢纽点选址问题研究[J]. *运筹与管理*, 2021, 30(9): 64.
- [12] 黄佳敏. M 快递公司航空货运枢纽航线网络优化研究[D]. 北京:北京交通大学, 2023.
- [13] BRAUN M, KOCH A, DAHLMANN K, et al. An airline network design approach considering environmental and economical targets[C]//Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. Hamburg: ICAS, 2010: 210-216.
- [14] PARSA M, NOOKABADI A S, FLAPPER S D, et al. Green hub-and-spoke network design for aviation industry[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 229: 1377-1396.
- [15] KIM B J, CHOI Y. A study on airlines network changes by emission charges[J]. *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 2017, 25(4): 178-186.
- [16] SUN M, TIAN Y, ZHANG Y, et al. Environmental impact and external costs associated with hub-and-spoke network in air transport[J]. *Sustainability*, 2021, 13 (2): 465.
- [17] 李超, 田勇, 孙梦圆. 基于 VNS 算法的枢纽航线网络绿色优化[J]. *航空计算技术*, 2021, 51(1): 17-21.
- [18] 孙梦圆. 绿色中枢辐射式航线网络优化设计研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2021.
- [19] 闫妍. 航线联盟下货运航空公司物流网络优化研究[D]. 成都:西南交通大学, 2021.
- [20] 唐国友. 基于成本考虑的 S 公司航空快递网络优化研究[D]. 厦门:厦门大学, 2019.
- [21] 孙宏, 黄赶祥, 王晓东. 一种民用客机航线平均油耗评估模型[J]. *工业工程*, 2014, 17(5): 41-45.
- [22] 李倩茹. 基于环境因素的航线网络优化研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2021.

Optimization of Freight Route Network Considering Environmental Factors

SHAN Qiuyue, WU Yongqiang, HUANG Chunli, YANG Yurong

(School of Airport Engineering and Aviation Transportation Management, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China)

Abstract: In response to the problem of traditional freight route network designs focusing solely on economic objectives while neglecting environmental impacts, a comprehensive optimization method for freight route network considering both economic goals and environmental effects was proposed in the context of green aviation. Based on a multi-allocation strict hub-and-spoke route network, a mathematical model was constructed with the objectives of minimizing economic costs, CO₂, CO and Nox emissions. Linear weighting method and branch-and-bound algorithm were employed for solution in conjunction. The results indicate that there are certain differences in the route network structures under different optimization objectives, making it challenging to simultaneously achieve optimality. Compared to solutions that only consider economic costs, the comprehensive solution proposed in this paper achieves a better balance between economic benefits and environmental impacts.

Keywords: air transport; hub network design; environmental impact; optimized design