

空铁联运便利度评价与比较研究

崔彦博, 梁晓杰, 眭凌

(交通运输部科学研究院, 北京 100029)

摘要: 基于空铁联运的内涵基础与现实意义, 分析中国主要城市机场的空铁联运发展情况。从设施配套和运营服务两个方面, 对比各机场空铁换乘的便利程度。综合运用主客观综合赋权法和熵权法探讨空铁联运便利度的主客观综合评价方法, 系统梳理各指标的发展水平和有待改进的地方。为发挥轨道交通集疏运能效, 实现空铁联运在更高水平、更大范围的推广应用, 提出规划建议: 1) 积极建设枢纽机场高铁和城际铁路车站; 2) 合理规划各类型轨道交通配套设施; 3) 优化车辆编组策略; 4) 促进空铁部门融合, 打造合作产品。

关键词: 交通规划; 空铁联运; 主客观综合赋权法; 熵权法

Evaluation on the Convenience of Air-Rail Multimodal Transportation

Cui Yanbo, Liang XiaoJie, Sui Ling

(China Academy of Transportation Science, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the connotation and practical significance of air-rail multimodal transportation (ARMT), this paper reviews the development of ARMT in major cities' airports in China. In terms of facilities and operational services, the paper compares the convenience of transfer between air transportation and railway in different airports. Using the subjective and objective comprehensive weighting method and the entropy weight method, the paper develops a subjective and objective comprehensive evaluation method for evaluating the convenience of ARMT. The development level of each indicator and the areas to be improved are systematically sorted out. In order to give full use to the efficiency of rail transit collecting and dispatching, and to achieve the application of ARMT at a higher level and a wider scope, the paper provides planning suggestions: 1) actively build high-speed railway and intercity stations around the hub airports; 2) rationally plan all types of rail transit facilities; 3) optimize the strategy of train formation; 4) promote the integration of air transportation and railway sectors and create cooperative products and services.

Keywords: transportation planning; air-rail multimodal transportation; subjective and objective comprehensive weighting method; entropy weight method

收稿日期: 2018-05-29

作者简介: 崔彦博(1993—), 男, 河南郑州人, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向: 交通政策与规划管理。E-mail: 1669717308@qq.com

1 背景及理论

1.1 空铁联运的背景与意义

空铁联运模式始于西欧国家, 已有数十年的发展历史。在欧洲最繁忙的5大机场中, 除地处欧洲大陆之外的伦敦希斯罗国际机场, 其他4个均已建有高速铁路(以下简称“高铁”)线路, 且都经历了国内乘客的分流和国际旅客的增加, 并最终由铁路为民航带来更多客流, 促使机场扩建扩容^[1]。

近年来, 中国交通基础设施建设热度持续高涨。以快速、舒适为特征的高铁和民航

客货运周转量保持两位数的增长, 并形成了全球第一大高铁网络和第二大航空网络^[2], 铁路和城市轨道交通的覆盖范围均逐步扩大。具体发展情况如图1所示。

2012年以来, 中国民航、高铁设施数量和客运量持续快速增长, 其中高铁客运量增速更大。由于高铁铺设密度不断增加, 且航空空域资源较为紧张, 原有中短途航线的客流逐步向高铁分流^[3]。在京广高铁武广段开通时, 中南地区武汉—广州、武汉—长沙、长沙—广州等多条航线减班乃至停飞^[4]。辩证来看, 高铁与民航的良性市场竞争使民航

将原本用于盈利性较差的短途航线的宝贵运力更多转向经济性更佳的中长途航线，高铁自身高效密集的运输网络也为航空准时、快速地输送了更多中远程客流。

与此同时，城市轨道交通建设进入快车道，开通轨道交通的城市数量逐年增长，总里程也越来越长。2017年，完成轨道交通投资额超过百亿元的城市共有18个，2011—2017年，车辆数、客运量、通车与在建里程的年均增长速度均超过15%。

高铁的网络化运行也为民航带来了更大的集散客源。高铁与民航的运输优势分别体现在300~800 km和>800 km^[5-7]。2012年以来，在高铁、民航双增长的背景下，铁路平均运距逐步缩短，民航运距逐渐增加，两者分工协同的比较优势日益凸显。在北京、成都等国际航空枢纽城市新建机场和重庆、武汉、郑州等国内航空枢纽城市新建航站楼背景下，实施基础设施型的空铁联运能够充分满足国民日益增长的出行需求，整合内联

外通的大交通运能，极具资源优化配置的现实意义。

空铁联运有利于充分发挥辐射范围广阔的机场枢纽优势和较大范围、大运量、快速准点的铁路集散优势，实现两者优势互补，避免无序竞争，提升乘机服务便捷程度，减少旅客换乘时间，同时减少中转客流对城市交通的干扰，使机场成为联通国内外、城市间的大型综合交通枢纽。

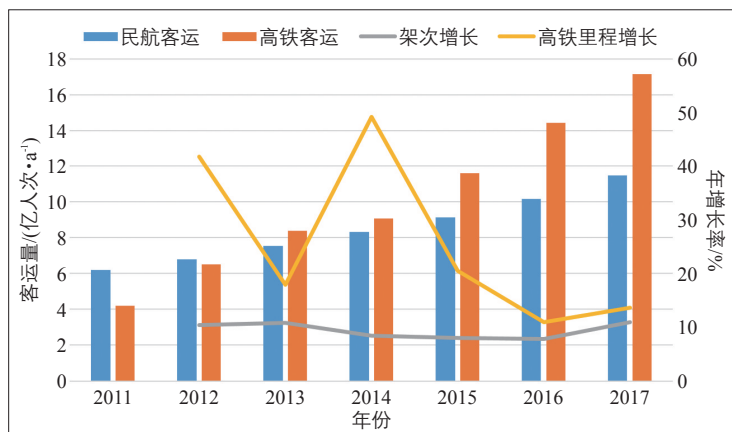
作为航空枢纽的北京、上海、广州三大一线城市的国际航线日渐繁忙，城市用地和空域资源紧张，原有的支线航空需求无法满足，这也进一步促进高铁作为支线航空替代品与干线航空共同形成中枢辐射式空铁联运网络^[8]。

1.2 相关理论与比较分析

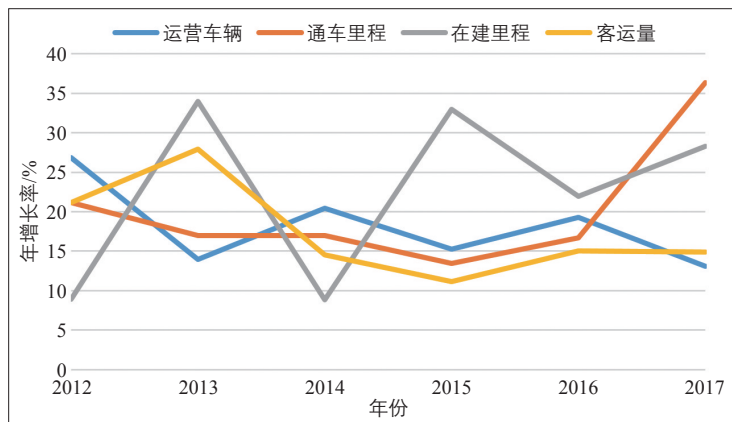
空铁联运是指航空运输与铁路运输之间协作的一种联合运输方式，参与者包括民航机场、航空公司、铁路系统等。国际上空铁联运的主要形式分为两类：依托基础设施的空铁联运和依托运输服务的空铁联运。依托基础设施的空铁联运模式又称两极直通模式，主要是将铁路设施与机场航站楼贯通相连，实现多种快速、准点、大运量的公共交通设施的集中布局，打通民航运输的末端毛细血管，使航空和铁路分别以干支线的方式互为补充，这其中以日本东京成田国际机场和羽田国际机场较为著名。而依托运输服务的空铁联运模式，着重在票务、行李托运、异地值机等业务融合以及多家运输企业间和部门间的融合，以德国法兰克福为代表形成的“零米高度支线航空”，通过代码共享将铁路车次与航班架次对应，使旅客通过汉莎航空的订票网络预订火车票，火车时刻表与航班的起降时间衔接，旅客可以在火车站办理登机手续并托运行李和一站式安检。空铁联运扩大了机场辐射范围和枢纽集聚效应，提高了旅客出行便利度与社会整体经济效益，并使城市群内部交通层次化发展脉络更加清晰。

机场与铁路的空铁联运包含以下铁路类型：高速铁路(国家高速铁路、城际铁路)、普通铁路、城市轨道交通(机场快轨专线、地铁或轻轨)。中国现有的空铁联运铁路主要有高速铁路和城市轨道交通两种类型。

中国最早建成机场综合交通换乘中心(Global Translator Community, GTC)的大型民航机场是上海虹桥国际机场(以下简称“虹



a 民航与高铁网络建设和运量增长趋势



b 城市轨道交通建设与运营增长变化趋势

图1 中国民航与高铁、城市轨道交通发展情况

Fig.1 Development statistics of civil aviation, high speed rail, and urban rail transit in China

资料来源：历年《交通运输行业发展统计公报》。

桥机场”），与其直通的虹桥高铁站为国家高速铁路的特等车站。此后，海口、长春、武汉、郑州、长沙、三亚等城市先后通过机场城际线连接高铁车站与其他城际铁路车站，部分还配套建设了城际+城市轨道交通双线，成都、石家庄则直接将机场铁路车站作为国家高速铁路经停站。正定机场站运营以来，石家庄正定国际机场(以下简称“正定机场”)推出携程空铁一站式购票和隔夜换乘免费住宿服务，在空铁联运旅客中，北京旅客比例达40%，分担了北京首都国际机场(以下简称“首都机场”)由于饱和而溢出的客流。

在其他旅客吞吐量较大的机场中，首都机场、上海浦东国际机场、广州白云国际机场(以下简称“白云机场”)等配套或在建机场快线，但多数线路经停车站较多，最高车速80~100 km·h⁻¹。可见，大运量的城市轨道交通交通运输已经在中国枢纽机场的基础设施配套建设中普遍受到重视。

与虹桥机场不同的是，其他机场的空铁联运由于机场所在或邻近配套车站等级较低，车次和吞吐能力有限，均需经联络线与高铁枢纽进行转换，换乘次数、车次密度对空铁联运的便利度影响较大。相比城市轨道交通，高铁或城际铁路更能有效发挥铁路中短距离的地面运输接驳国际或区域枢纽机场的远程空中运输能力，有效地拓宽枢纽机场的辐射范围。

2 空铁联运便利度指标体系构建

2.1 评价指标选取

本文以已开通机场高铁或城际铁路的城市为例(上海虹桥站为国铁正线特等车站，不做比较)，对各城市基础设施层面的空铁联运进行横向对比。通过轨道交通类型、客运能力、机场吞吐、列车间隔等指标，分析成都双流国际机场(以下简称“双流机场”)、郑州新郑国际机场(以下简称“新郑机场”)、长沙黄花国际机场(以下简称“黄花机场”)、武汉天河国际机场(以下简称“天河机场”)、海口美兰国际机场(以下简称“美兰机场”)、三亚凤凰国际机场(以下简称“凤凰机场”)、长春龙嘉国际机场(以下简称“龙嘉机场”)、正定机场8大区域性枢纽国际机场的空铁联运发展现状和横向差距。

借鉴空铁联运模式的分类，在设计指标

体系中，按照基础设施条件和运营服务能力两方面建立空铁联运便利度水平，指标结构如表1所示。其中 a_{11} 表示换乘车站的站台规模； a_{12} 表示机场与最近的高铁枢纽的距离；

$$a_{13} = \begin{cases} 1, & \text{国铁} \\ 2, & \text{城际铁路} \\ 3, & \text{城市轨道交通} \end{cases}; a_{14} \text{ 表示由机场出}$$

发列车3 h内可达的车站数量/座。运营服务能力

$$a_{21} = r_i \times n_r \times 2 + r_e \times n_r, \quad (1)$$

$$a_{22} = r_e \times n_c, \quad (2)$$

$$a_{23} = L / (r_i + r_e), \quad (3)$$

式中： r_i 为每日经停车次/(次·d⁻¹)； r_e 为每日始发终到车次/(次·d⁻¹)； n_r 为铁路列车平均载客量/(人·列⁻¹)； n_c 为城市轨道交通列车平均载客量/(人·列⁻¹)； L 为当日列车运营时长/h。 a_{24} 表示当前换乘站铁路发送能力占机场日均吞吐量的比例。在铁路、城市轨道交通日发送量的具体测算中，按照动车或地铁、磁悬浮实际车型的额定载客量乘以该车次编组车厢数计算。由于现有的轨道交通机场站均位于起止点，因而城市轨道交通日发能力只计算始发终到车次。

2.2 指标赋权与评价方法

为综合评价空铁联运便利度，采用主客观综合赋权的指标加权评价方法。在指标赋权上，主观赋权中包含层次分析法(The Analytic Hierarchy Process, AHP)、德尔菲法、对比排序等，AHP应用最为广泛。客观赋权中包含标准离差法、回归分析法、熵权法等。主观赋权侧重专家经验，客观赋权侧重指标数值。由于对空铁联运的各指标缺乏权威的评价，主客观综合赋权法有利于综合考虑主观经验和客观数据的得分差距得出评

表1 空铁联运便利度指标体系

Tab.1 Convenience indicators system of air-rail multimodal transportation

一级指标	二级指标	三级指标
空铁联运便利度 a	基础设施条件 a_1	站台规模 a_{11}
		高铁枢纽距离 a_{12}
		轨道交通类型 a_{13}
		可达站点数 a_{14}
	运营服务能力 a_2	铁路日发能力 a_{21}
		城市轨道交通日发能力 a_{22}
		平均车次间隔 a_{23}
		铁路能力占比 a_{24}

价结果,使三级指标 a_{ij} 的赋权结果更全面、可靠。

在使用客观赋权法时,需先进行数据处理,将效益型指标、成本型指标以及0-1型整数变量均转化为标准化的数据范围[0,1]。用上下限效果测度计算成本型和效益型指标的标准化公式为

$$s_i = \frac{z_i - \min i}{\max i - \min i}, \quad (4)$$

$$s_i = \frac{\max i - z_i}{\max i - \min i}, \quad (5)$$

式中: z_i 为指标得分; $\max i$ 为指标最大值(即上限效果测度值); $\min i$ 为最小值(即下限效果测度值); s_i 为指标标准值。本指标体系中, $a_{11}, a_{13}, a_{14}, a_{21}, a_{22}, a_{24}$ 为效益型指标,其他均为成本型指标。 a_{13} 中包含的轨道交通类型按照集疏运能力和载客能力取值,高铁取0.4,城际铁路取0.4,城市轨道交通取0.2,然后加和计算得分。

采用熵权法,确定熵值

$$E_j = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n,$$

式中: m 为被评价指标的数目/个,文中 $m = 8$; n 为评价对象数目/个,文中 $n = 8$,

并且 $p_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^m b_{ij}}$, b_{ij} 为第 j 个评价对象指

标 i 的标准值 s_i ,为使 $\ln p_{ij}$ 有意义,假定 $p_{ij} = 0$ 时, $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} \ln p_{ij} = 0$ 。

利用熵值计算评价指标的熵权

$$W_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j}, j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

2.3 最小二乘法优化模型

为了兼顾主观经验偏好及决策的真实性和差异化,以综合权重距离主客观权重的差异最小为原则,引入离差函数,建立确定指标权重的加权最小二乘法优化模型^[9]

$$\min \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 \alpha_k [(w_j - w_{kj}) b_{ij}]^2, \quad (8)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j > 0 (j \in M), \quad (9)$$

式中: $w_j (j \in M)$ 为组合后的权重; w_{kj} 为第 k 种赋权法的 j 指标权重; α_k 为第 k 种指标赋权法的权重系数; b_{ij} 为规范化后指标 i 关于对象 j 的评价矩阵,其中, $\sum_{k=1}^q \alpha_k = 1$; q 为赋权方法的数量。构造拉格朗日函数可得

$$L(w, \lambda) = \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 \alpha_k [(w_j - w_{kj}) b_{ij}]^2 + 2\lambda \left(\sum_{j=1}^m w_j - 1 \right). \quad (10)$$

对式(10)两边求偏导,根据极值存在的必要条件可得模型的最优解为

$$w_j = \sum_{k=1}^q \alpha_k u_{kj}, j \in M, \quad (11)$$

$$h(u_i, u_j) = \sum_{i=1}^m u_{ij} \lg \frac{u_{ij}}{u_{ji}}, \quad (12)$$

式中: u_{kj} 为第 k 种指标赋权法的对象 j 的权重,由各指标的得分计算。根据最优化理论的结论,当存在全局最优解时,最优解 $d^* = (d_1^*, d_2^*, \dots, d_m^*)$ 满足以下条件

$$d_i^* = \frac{\prod_{j=1}^q (u_{ji})^{\frac{1}{q}}}{\sum_{i=1}^m \prod_{j=1}^q (u_{ji})^{\frac{1}{q}}}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (13)$$

由此计算第 i 种赋权结果与集结权重的贴合度 $h(u_i, d^*) (i = 1, 2, \dots, q)$,计算各赋权结果的可信度,第 k 个赋权结果与集结权向量的贴合度越大,说明其在组合权重中的效应越明显。其可信度权重

$$\alpha_i = \frac{h(u_i, d^*)}{\sum_{i=1}^q h(u_i, d^*)}, i = 1, 2, \dots, q. \quad (14)$$

3 空铁联运便利度求解及评价

3.1 指标获取与计算

由于铁路、城市轨道交通的日发送能力没有公布原始数据,本文通过查阅相关资料估算2.1节中 a_{21} 并计算对应 s_5 和 b_{5j} 。具体测算中,按照实际承运车型的额定载客量和编组车厢数,求得每日旅客发送能力;在3 h内可达的车站数量上,虽然正定机场、双流机场均位于国铁正线,经停车次较多,但是距离该站较远的郑州、太原等地旅客一般不会选择该站进行空铁换乘,因而仅选取铁路优势运距800 km范围内(约3 h)的车站作为空铁换乘站的可达车站进行比较。通过用指标原始数据对比已开通高铁中转的机场的相关数据,分析现有的铁路配套与自身航空发展情况的适应程度,最终结果如表2所示。

除龙嘉机场和正定机场,建有高铁、城际铁路的机场基本上都是旅客吞吐量排名前20的枢纽机场。

通过问卷调查了解各指标对乘客出行体验的影响,得出判断矩阵和一致性检验指标,

由 AHP 法计算出主观权重 $w_1 = [0.07, 0.16, 0.34, 0.03, 0.09, 0.04, 0.02, 0.25]$ 。

将表 2 中指标得分归一化后, 计算各指标熵值及对应熵权, 采用熵权法公式(7)确定客观权重 $w_2 = [0.07, 0.10, 0.02, 0.10, 0.12, 0.34, 0.07, 0.18]$ 。

两种赋权法的差异主要体现在轨道交通类型 a_{13} 、3 h 内可达的车站数量 a_{14} 和城市轨道交通日发能力 a_{22} 指标, 其方差较小; 而主观打分中城市轨道交通日发能力和 3 h 内可达的车站数量指标在各机场样本得分的方差较大, 熵权法中权重配比较高。

采用 Matlab 求解最优解, 由公式(12)和(14)计算主观与客观的加权系数 α_1, α_2 , 并最终计算可得组合权重 $w = [0.07, 0.13, 0.20, 0.06, 0.10, 0.18, 0.04, 0.22]$ 。各机场最终得分如表 3 所示。

3.2 综合赋权结果分析

由综合赋权公式得出的结果取值区间为 $[0, 1]$, 扩大区间取值为 $[0, 100]$, 换算为百分制后可以看出, 各机场空铁联运现状得分均分布在(30, 70)之间, 说明各区域枢纽机场的空铁换乘各具优势, 参与评价的机场尚不存在具有绝对领先优势的空铁联运体系。双流机场、天河机场、新郑机场凭借基础设施占优, “城际铁路+地铁”双轨直达空港, 且车次密、运量大, 位居空铁换乘便捷度评价

的前 3 位。在吞吐量排名较靠前的机场中, 黄花机场采用低造价的中低速磁悬浮列车能够完全适应现有客流需求, 但是在远期客流增长后, 单线的磁悬浮联运车次加密存在压力, 且与铁路在售票、安检等方面无法实现站内接驳的便捷服务, 使得长沙市外的客流集疏便利度较差, 影响了总得分。龙嘉机场作为客流较小的机场, 凭借到发车次较多的优势, 联运能力充足, 因而得分高于平均分。

对比各项指标得分, 可得出以下结论:

1) 在空港铁路日发送能力方面, 新郑机场、黄花机场、龙嘉机场日发送能力较大, 平均可满足现有机场 50% 以上的旅客到发出行。这主要由于三者采用的铁路为城际专线或磁悬浮专线, 往返市内高铁枢纽与机场间的列车车次较多, 且机场位于轨道交通线路的终点, 从而保障轨道交通线路专线专用, 更有效地服务于空港客流集疏。相比之下, 正定机场、天河机场、凤凰机场、美兰机场的铁路车站均位于国家干线高铁正线上, 车次停靠较少, 且每列车可分配座席数量有限, 旅客发送能力受限。

2) 在城市轨道交通衔接上, 双流、新郑、天河三个区域枢纽机场均采用“城际铁路+地铁”的双线运行, 且机场站均位于地铁线路的始发终到站。其中城市轨道交通载客能力以满载计算, 均能满足现有的机场旅客吞吐量需求。但若从城市交通角度考量,

表 2 各机场评价指标对比

Tab.2 Comparison of airport evaluation indicators

机场	2017 客运排名	a_{11}	最近高铁枢纽	a_{12}/min	a_{13}	a_{14}	$a_{21}/(\text{万人次}\cdot\text{d}^{-1})$	$a_{22}/(\text{万人次}\cdot\text{d}^{-1})$	a_{23}/min	日旅客吞吐量/ (万人次·d ⁻¹)	a_{24}
双流机场	4	2台6线	成都南站	10	2+3	20	2.25	33.7	39	13.64	16.5%
新郑机场	13	2台4线	郑州东站	17	2+3	9	4.75	22.3	30	6.66	71.4%
黄花机场	14	1台2线	长沙南站	19.5	3	2	0	7.26	18	6.51	111.5%
天河机场	16	2台4线	汉口站	12	2+3	28	1.80	2.61	39	6.34	28.4%
美兰机场	17	2台4线	海口东站	8	2	13	2.60	0	19	6.19	42.0%
凤凰机场	20	2台4线	三亚站	10	2	21	0.70	0	58	5.31	13.2%
龙嘉机场	30	2台4线	长春站	15	2	10	3.44	0	20	3.19	107.7%
正定机场	33	2台4线	石家庄站	14	1	22	1.25	0	28	2.62	47.6%

资料来源: 铁路 12306 列车时刻表、高铁管家、各铁路局管内车站设施统计、各机场运营统计公报。

表 3 各机场评价得分

Tab.3 Airports evaluation score

机场	双流机场	新郑机场	黄花机场	天河机场	美兰机场	凤凰机场	龙嘉机场	正定机场	平均
得分	67	66	50	61	46	31	54	41	52

不同于长沙的磁悬浮，地铁沿线经停站较多，载客量有相当一部分应服务于市内交通，因而实际服务于机场的地铁运力有限，且对于商旅出行需求的乘客而言，廉价、拥挤、速度较慢的地铁比机场快线的体验稍差。

3) 从站台规模上看，现有的机场车站均属于二等或三等车站，车站级别低、规模小，除成都和石家庄位于高铁正线车站外，其他机场城际铁路可达车站数量较少，主要满足旅客中转进出，候车资源有限。

4) 从列车到发站的间隔时间来看，在列车运营期间，新郑机场、黄花机场、美兰机场列车到发间隔时间均在15 min以内，能够充分满足到发旅客需求，减少旅客等待时间，但仍有部分航班由于过早或过晚，现有列车运行时段没有覆盖。

5) 相比城市轨道交通，空铁联运中城际铁路的覆盖地域范围和人口规模更大，而现有的机场高铁距离高铁枢纽的车程一般在10 min以上，对比虹桥机场，以上几座主要机场在市域或者市内的空铁衔接便利度尚不成熟。

6) 双流机场、新郑机场、天河机场、黄花机场的列车全日运营时长分别为14.5 h, 17.5 h, 13 h, 15.5 h。运营时间主要集中在高峰客流时段，而双流机场夏季进出港高峰为5:30—23:00，现有的列车运营时长相对较短，无法充分满足乘客出行需要。

4 对于空铁联运发展的建议

4.1 积极建设枢纽机场高铁、城际铁路车站

在中国旅客吞吐量排名前10的空港中，只有虹桥机场、双流机场已建成空铁换乘。北京大兴新机场、白云机场城际铁路配套正处于建设阶段。西安、昆明、重庆、杭州、南京等区域枢纽机场客流需求旺盛，均距离主城区较远，但尚未开展相关空铁联运的线路站场规划建设，地方主管部门应在科学预测远期客流的基础上，加快推进空港铁路布局建设。

参考国外机场发展历程，在西班牙动车运营的头两年，马德里至巴塞罗那的空中交通量减少了40%而且仍未触底，但两座城市的机场吞吐量均增加并引来了机场扩建。如今，马德里已成为欧洲飞往拉丁美洲国家的门户，并取代荷兰史基辅机场成为欧洲最繁忙机场。可以说，空铁联运有效助力了民航繁荣。

在高铁站的建设规划中，一方面，应预留机场改扩建以及车站扩容的发展空间，使空铁联运的服务供给在民航快速增长的环境下，能够充分适应旅客吞吐需求。对于客流需求旺盛的机场，应考虑在机场附近配套高等级铁路车站，如上海虹桥站和在建的郑州南站，以满足远期机场扩容的需求，并减少机场通往都市区轨道交通的换乘次数。另一方面，高铁站及城市轨道交通建设的技术要求高，相应成本较高，尤其是对于远离主城区的机场，铺设城市轨道交通线路更长，造价更高，对于当前客源基础薄弱的城市，应考虑当地财政及民航发展前景，是否有修建的必要和收回成本的周期长短。以龙嘉机场为例，2010年即建成了最早的空港高铁站，其机场客运量常年在国内排名30左右，高铁站的修建带动了客流提升，但城际列车常年上座率较低，票价难以回收建设及运营成本，运营所依赖的补贴缺口较大。

4.2 合理规划各类型轨道交通配套设施

机场设施建设改造周期较长，在规划阶段，应适度超前、立足长远发展，注重铁路线路与空港设施的配套建设。根据当地主要客源地的人口体量，以及当前机场的吞吐能力配套建设与之规模相适应的车站站房。对于枢纽空港，其铁路车站附近应设有铁路特等站或一等站，更多服务于城市群或都市圈内乘客出行。同时在铁路站房与航站楼间，设置快速步道或空铁联络线等设施，减少旅客步行换乘距离，方便联程接驳。

由于高铁列车到发次数少，时间间隔长，对于客流量较大的枢纽机场，在建设机场高铁站的同时，应引入城市轨道交通项目，依托高频次、多停靠的轨道交通线路更多服务本地旅客出行。以近年来发展迅猛的新郑机场为例，仅用5年时间，年客流吞吐量由1 000万人次增长至2 000万人次，并于2017年成为中部机场第一位。这与机场集疏轨道交通网的规划建设关系密切。自2014年先后修通机场通往市区、开封、焦作城际铁路，未来郑许市域铁路、郑登洛城际铁路和郑州南站城郊铁路的相继建成，将进一步增强新郑机场作为中原唯一的干线国际机场的区域辐射作用，培育机场客流增长。

4.3 优化车辆编组策略

不同机场的城际铁路发送能力的差距主要在于采用的列车车厢编组数量以及到发车

次。新郑机场的城际旅客发送能力最强，主要因为该机场车站日到发车次较多，发车间隔较短，但也存在部分时段的车次空跑、半载等问题。对比新郑机场、龙嘉机场的现有日吞吐量，城际铁路运力已出现富余，经济性较差。

合理的编组和调度应以车辆一定程度上的满载为约束条件，尽可能提高旅客的运送能力。随着中国铁路路网调图频次和幅度不断增加，各城市所在铁路部门应结合自身实际及时调整车次运行图，另外，也应充分考虑各车站对民航客源的吸纳能力，根据民航主要客流构成合理选择疏港列车经停车站与城市。

4.4 促进空铁部门融合，打造合作产品

除基础设施外，国外空铁联运的便利度更多体现在运输服务产品的深度融合。东京成田机场、伦敦希斯罗机场、法国戴高乐机场等较成功案例均是依托市场化运作的航空与铁路公司的深度合作，包括空铁住宿打包出售、联程票务优惠、行李一单制托运的联运服务产品，使空港铁路充分满足航班延误、行李托运提取等需要，在进出港和乘机(车)环境中给予优化，在交通换乘、机位配比、步行距离、行李到达、信息共享平台等指标上提供人本化的全链条服务。

在民航和铁路建设与运营情况快速增长的背景下，航空公司的经营模式日益灵活，运营效益和盈利能力逐步提升，而铁路部门也加速企业化改制，赋予了更多的经营效益诉求。民航和铁路两个大进大出型高效大运量的运输体系，要想进一步加强合作，必须由相关部门联合协同，统筹规划，形成国家层面自上而下的战略规划布局。可喜的是，2018年5月，中国民用航空局与中国国家铁路集团有限公司签署推进空铁联运战略合作协议，双方将在完善空铁联运基础设施、创新空铁联运产品、提升空铁联运服务、扩大空铁联运信息共享、推动空铁联运示范工程5个方面展开合作。

通过联合民航机场、航空公司、铁路系统打造票务、乘降服务等空铁联运产品，打破行业壁垒，化各自为政为通力合作，能有效提升空港运输系统效率，降低出行换乘成本。空铁业务融合能改善需求结构和供给水平，拓展高附加值、高盈利、高开放度的新兴产业业态，更有力地反哺冷链和快件物流、高端制造、跨境电子商务以及会展、旅

游等现代服务业，加强航空经济对于城市和区域经济的产业带动和贸易繁荣效应。

5 结语

本文从基础设施和运营服务能力两方面，梳理空铁联运便利度的评价指标，建立评价指标体系，对二三线城市的空铁联运水平进行量化对比。针对不同城市的发展特点，总结了轨道交通类别、车次数量、高铁枢纽距离及通达度等对于空铁联运便利度的影响水平，提出服务改进建议。

截至2018年底，中国民用航空局已联合多省市先后编制了乌鲁木齐、昆明、郑州、哈尔滨等城市建设国际枢纽机场战略规划。相比欧美发达国家，中国民航客流强度仍有持续增长的巨大潜力，在高铁与民航设施投资快速发展阶段，航空+铁路、航空+城际汽车班线融合协同将更加深入，临港高铁站、以机场为中心的城市轨道交通网、异地航站楼等将共同构成枢纽机场畅通联运的中转换乘系统，实现高效集疏。

空铁联运便利度对于换乘旅客流量的培育至关重要，规划建设部门应在设施投入和运营能力方面进行科学决策，使航空服务供给能力充分适应居民出行和社会经济发展的需要。

参考文献：

References:

- [1] 约翰·卡萨达, 麦克·卡农, 黄菲菲, 等. 规划高效发展的航空大都市[J]. 区域经济评论, 2016(5): 42-59.
Kasarda J D, Canon M H, Huang Feifei, et al. Creating an Effective Aerotropolis Master Plan [J]. Regional Economic Review, 2016(5): 42-59.
- [2] 王琪. 基于可达性的中国民航和高铁竞争关系分析[D]. 南昌: 江西师范大学, 2015.
Wang Qi. The Study on Competition and Cooperation of High-Speed Rail and Air Transport in China Based on the View of Accessibility[D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2015.
- [3] 华夏. 基于旅客时间价值的空铁联运定价研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2016.
Hua Xia. Air-Rail Pricing Research Based on Passenger Value of Time[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2016.

(下转第104页)