

大型空港枢纽区域集疏运网络优化方法

Optimization of Regional Passenger Distributing Network for Large Airport

张国华, 郝 媛, 周 乐

(中国城市规划设计研究院, 北京 100037)

ZHANG Guo-hua, HAO Yuan, ZHOU Le

(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China)

摘要: 完善的区域集疏运网络是巩固空港腹地、为区域航空客流提供高效服务的基础。从空港的区域垄断特性、空港对区域经济的作用以及客流组成变化趋势三个方面讨论了大型空港枢纽的区域服务特征, 强调空港腹地拓展的重要性。提出区域集疏运网络优化调整方法: 确定空港腹地范围, 明确客流分布, 优化区域综合交通网络与空港的衔接。最后, 以重庆市江北机场枢纽为例, 对区域城际轨道、高速公路网络进行优化, 预计区域航空客流比例将从现状的35%提升至2040年的60%。

Abstract: An effective regional passenger distributing network plays an important role in providing high-quality services for air travelers. This paper discusses the regional service characteristics of large airports in three aspects: regional monopoly, economical impact of an airport on the regional development, and the changing pattern of passenger composition. It also stresses the importance of expanding airport hinterland. The paper proposes the optimization methodologies for regional distributing network: identifies the scope of an airport hinterland, outlines air-passengers distribution, and discusses

空港是一个城市、区域乃至国家对外开放的窗口, 是生产和商业活动的重要节点, 也是带动地区经济发展的引擎。随着区域一体化进程的加快, 空港枢纽在区域综合交通体系中的地位 and 作用日益凸显, 其区域服务能力的发挥也越来越依赖于完善的区域集疏运网络以及和空港枢纽的良好衔接。

1 大型空港枢纽的区域服务特征

大型空港枢纽不仅具有重要的地域区位, 还是航空网络中的关键节点以及航空公司中枢网络的核心, 因此其服务范围不再局限于所处城市, 而是延伸至更远的区域。

1) 垄断与竞争。

作为民航运输的服务设施, 空港有其特定的优势, 但与其他交通

the intermodal transfer between a regional comprehensive transportation network and the airport. Finally, taking Jiangbei airport in Chongqing as an example, the paper presents how to optimize regional intercity rail transit and freeway network. It is predicted that the regional air passenger ratio will increase from 35% to 60% by 2040.
关键词: 交通规划; 交通枢纽; 网络优化; 区域腹地; 集疏运网络

Keywords: transportation planning; exchange terminals; network optimization; regional hinterland; pas-

senger distributing network

中图分类号: U492.1+1

文献标识码: A

收稿日期: 2010-05-11

作者简介: 张国华(1971—), 男, 山东潍坊人, 博士, 教授级高级工程师, 城市交通研究所副所长, 主要研究方向: 综合交通枢纽(空港、火车站)规划设计、城市综合交通规划、重点地区交通整治及交通工程设计、交通与城市规划一体化设计。E-mail: zhanggh@caupd.com

方式间存在竞争,同时,空港之间也存在竞争。空港相对稳定的消费群体是邻近该空港而又必须选择航空运输的群体,这使得空港具有局部有限垄断性^[1]。除了某些地理位置或政策特殊的空港初期发展主要依靠外部市场以外,空港主要基于特定区域的需求并依靠这一市场发展,形成有限垄断市场^[1]。

垄断市场并非固定不变。一方面,随着航空运输需求扩大以及政府和社会投资力的增强,空港的密度将提高,同一区域将变成若干个空港的共同市场;另一方面,随着陆路交通系统的改善,空港辐射能力将提高,服务范围随之扩大。在这两种趋势下,航空市场的流动将不断加强,而空港所依靠的有限垄断市场也将随之变化。

随着空港逐步发展壮大,其发展将越来越依靠外部市场,即竞争市场。竞争市场又可以分为交叉市场、中间市场和中转市场^[1]。中转客流基本不利用空港的集疏运网络,交叉市场和中间市场是始发客流的潜在腹地。因此,空港腹地拓展的关键在于对交叉市场和中间市场的竞争,其重点在于陆路交通网络的构建。如果称空港的有限垄断市场为“核心腹地”,则交叉市场和中间市场可称为“间接腹地”。在城市影响力、空港区划及等级、航线数量等条件相差不大的情况下,完善区域内陆路和海路交通基础设施的建设和衔接,将是稳固核心和间接腹地、稳定客源的关键。

2) 支撑和引导区域经济发展。

航空运输及与其衔接的交通网络所能够影响的经济活动范围是其他交通方式无法比拟的。大型空港日益成为区域经济发展的强大驱动力、成为带动新一轮城市发展和促进各种新兴高科技产业向其周边地区汇集的核心要素。在以“速度经济”为特征的经济空间中,空港成为推动临空经济发展的核心要素^[2],不仅如此,借助便捷的区域综合交通网络,航空客货运输产业链将延伸至周边的区域、城镇,使大型空港成为区域对外贸易的窗口。法兰克福机场就是一个典型的例子,其之所以成为德国对外贸易的重要窗口,除了拥有遍及全球的航空网络之外,机场周边完善的综合交通网络以及发达的物流运输业也功不可没。

3) 区域服务趋势日渐加强。

随着大型空港枢纽航线网络以及与其衔接的区域综合交通网络的完善,空港枢纽区域服务趋势日益明显,表现为机场所在城市之外的腹地客流比例不断提高,而所在城市的客流比例日趋降低。空港在国际航空运输系统中的枢纽地位越高,其服务于区域客流乃至国际客流的的比例往往也越高。例如,美国亚特兰大、德国法兰克福机场吞吐量均排名世界前10位,而两个机场所在的城市却只是中小城市,2003年城市人口均不足航空客流吞吐量的1/30^[1]。上海浦东机场客运调查报告显示,1999年长三角旅客所占比例仅为10%,而2004年这一比例已达30%,预测未来将上升至50%^[3]。我国西部地区城市这一趋势亦逐渐明显,2009年,重庆市江北机场客流组成中重庆主城区与周边区域客流之比为65:35,且客流总量的20%来自四川省东部地区,这一比例甚至高于重庆市除主城区之外的市域范围客流所占比例(14%)^[4]。随着川渝两地合作进一步加强以及区域综合交通网络的建设和完善,江北机场的区域客流比例还将继续上升。

2 区域集疏运网络优化方法

2.1 区域腹地及客流分布

1) 腹地范围的确定。

在区域内大型空港枢纽对共同市场的竞争条件下,空港腹地的大小取决于空港自身的条件、所在城市的影响力,以及集疏运网络的支撑条件。集疏运条件好则腹地大,否则,再大的共同市场也只能成为其他空港的资源。空港枢纽的集疏运网络包括三部分:空港内部交通网络、空港对外交通网络以及内外交通的衔接,其中,对外交通网络又包括服务空港所在城市的市区集疏运网络和服务周边城市的区域集疏运网络。

确定腹地范围是分析空港区域服务能力的前提,而腹地范围与区域集疏运网络互相影响。在航线网络相似的条件,多市共同潜在腹地内的航空客流选择哪个空港作为其出行节点与到达该空港的旅行时间、费用和便捷性密切相关,因

此, 空港实际服务腹地的范围由区域集疏运网络所决定。高速公路通常呈网状布局, 以高速公路网络为支撑的空港腹地通常呈现星状覆盖; 高速铁路仅在有限方向上布局, 以高速铁路为支撑的空港腹地通常呈现带状或指状延伸。因此, 相对其他难以量化的因素, 根据与空港衔接的区域集疏运网络的速度绘制的空港可达性等时线图, 成为衡量空港腹地范围有效且实用的手段。通常考虑机场合理服务范围为地面运输时间 1.5 h 以内, 即高速公路方式为 150 km 以内、高速铁路方式为 450 km 以内。1.5 h 等时线可作为机场核心腹地范围, 而间接腹地范围可以 3 h 衡量, 但这一阈值还取决于与该腹地范围内参与竞争的主要空港的可达性对比。随着区域集疏运网络和交通工具的发展, 点与点之间的时间距离更短, 而空港密度不断增大, 使空港的核心和间接腹地的时间界限有逐渐缩小的趋势。

2) 客流分布的计算方法。

在确定空港腹地范围的基础上, 进一步掌握区域航空客流分布是规划和组织区域集疏运网络、优化不同等级枢纽与空港衔接方式的前提。区域航空客流分布指区域航空客流占总航空客流的(包括机场所在城市航空客流和区域航空客流)的比例。已有研究表明, 空港腹地内各城市航空客流的分布与各市/县的经济发展、社会发展、旅游吸引、综合交通状况等多个方面的指标密切相关。①经济发展状况可利用城市经济总量、政府的投资与财政能力、利用外资和进出口贸易等指标衡量; ②社会发展状况可利用人口总量、人均收入等指标衡量; ③旅游吸引可利用旅游人次以及旅游收入衡量; ④综合交通状况可通过城市客运总量以及公路、铁路的通车里程等指标衡量。这四个方面与航空客流均呈现正相关性。然而, 腹地内各城市距大型空港枢纽的时间/空间距离与这些城市的航空客流需求呈反比关系, 这是因为即使空港与区域综合交通网络实现了良好衔接, 区域内高速铁路对潜在航空客流仍具有一定的竞争力。因此, 距离是影响航空客流需求尤其是弹性需求的主要因素。

基于以上分析, 提出利用综合指标体系法和

重力模型法预测区域航空客流分布。综合指标包括经济发展、社会发展、旅游吸引、综合交通状况 4 个指标, 每个指标分别包括若干个具体指标, 这些具体指标应能够通过城市统计年鉴获得, 例如城市总人口、人均 GDP、入境旅游人次等。计算方法为

$$M_i^0 = D_i^0 / \text{Max}(D_i^0) \times 100,$$

$$S_j^0 = \left(\sum_{i=1}^m M_i^0 W_i \right) (d_j^0)^{-r},$$

式中: M_i^0 为第 i 个具体指标基年的标准化数值; D_i^0 为第 i 个具体指标基年的原始数值; $\text{Max}(D_i^0)$ 为基年腹地内所有城市第 i 个具体指标原始数值的最大值; S_j^0 为第 j 个城市基年的综合得分; m 为具体指标个数; W_i 为第 i 个具体指标的权重; d_j^0 为第 j 个城市基年的距离系数(此处指时间距离); r 为系数, 通过对基年区域航空客流分布调查结果进行标定, 设区域腹地内基年调查的城市 a 与城市 b 航空客流的比例为 k , S_a^0 和 S_b^0 均为 r 的函数, 通过构建 $S_a^0 / S_b^0 = k$ 即可标定 r 。

规划年各城市综合得分的计算方法为

$$D_i^n = D_i^0 p_i,$$

$$M_i^n = D_i^n / \text{Max}(D_i^n) \times 100,$$

$$S_j^n = \left(\sum_{i=1}^m M_i^n W_i \right) (d_j^n)^{-r},$$

式中: D_i^n 为第 i 个具体指标规划年的原始数值; p_i 为基年至规划年第 i 个具体指标的增长率; M_i^n 为第 i 个具体指标规划年的标准化数值; $\text{Max}(D_i^n)$ 为规划年腹地内所有城市第 i 个具体指标原始数值的最大值; S_j^n 为第 j 个城市规划年的综合得分; d_j^n 为第 j 个城市规划年的距离系数(可通过规划路网资料获取)。

通过对比各城市的综合得分, 可得到区域内各城市的航空客流分布。以规划年的空港客流总量和区域航空客流比例为基础, 计算区域内各城市的航空客流量, 进而评估区域集疏运网络对航空客流服务的能力, 并对集疏运网络进行合理优化、改善。计算公式为

$$S_j^n / \sum_{j=1}^k S_j^n = q_j^n,$$

$$Q_j^n = Q^n (1 - R) P q_j^n,$$

式中: S_j^n 为第 j 个城市规划年的综合得分; k 为区域内城市个数; q_j^n 为规划年第 j 个城市在区域所有

城市中所占的航空客流比例； Q_j' 为第 j 个城市规划年的航空客流量； Q' 为空港规划年的航空客流总量； R 为规划年的中转航空客流比例； P 为规划年的区域航空客流比例。

2.2 区域集疏运网络优化

区域集疏运交通网络主要包括普速铁路、高速铁路、城际轨道、高速公路等，与支线航空相比，地面交通系统的通达性和灵活性更加优越。例如，我国西部地区大型空港所在城市间距离约为300~800 km，各空港自身腹地相对较大，这本是航空客流增长的优势，但如果腹地与空港不能实现良好的衔接，则不仅不利于培育潜在客流，航空客流还可能向其他交通方式转移。为了稳固空港在区域中的地位并确保稳定的腹地客流，空港必须与区域综合交通网络实现良好的衔接并实行分工合作^[5-7]。例如，将短途旅行让位于铁路，同时依靠四通八达的铁路网络扩大和强化腹地，拓展和巩固航空运输始发客源的次级市场，培育和吸引潜在的航空客流。航空、铁路发挥各自经济运距优势，实现便捷的空铁联运，见图1。

2.2.1 枢纽衔接模式

以空港为中心不同圈层内的集疏运系统是一个整体，空港内部交通网络、空港对外交通网络以及内外交通的衔接需分层次规划，同时，各级网络必须环环相扣、功能和运量必须相互匹配才能提高整个空港集疏运系统的效率。区域综合交

通网络通过城市对外交通枢纽与城市衔接，当城市规模较大时，可能形成多个公路、铁路或多方式综合性的交通枢纽。空港大多位于城市边缘，使得一部分区域综合交通网络可直接衔接机场。空港与其他对外交通枢纽的衔接存在两种模式：

1) 模式1——通过城市交通网络衔接。

通过城市轨道交通、机场巴士或常规公交等将空港与市区内火车站、长途汽车站等对外交通枢纽衔接，具体体现为多种方式：①对外交通枢纽与空港通过公交、机场巴士分别联系，适用于航空客流规模较小的情况，见图2a；②通过城市轨道交通串联各对外交通枢纽与空港，图2b；③通过机场轨道快线连接空港与某一对外交通枢纽（常常是铁路站），而其他对外交通枢纽通过城市轨道交通与此枢纽相衔接，见图2c。这种模式下区域航空客流与城市通勤客流相互影响，增加乘客到达空港的时间并造成换乘不便。

2) 模式2——直接与区域综合交通网络衔接。

这种模式的大型空港往往处于一条或几条区域交通走廊的交点上，如区域轨道交通网络穿过此地并设有车站，使得部分方向的区域航空客流不必通过城市内部中转，即可实现空铁联运，使空港成为汇集多种交通方式的枢纽，见图2d。这种模式是当前大型空港发展的趋势，但其形成的前提是空港所处的位置必须有区域轨道交通(包括高铁、城际轨道等)通过。

2.2.2 线路组织措施

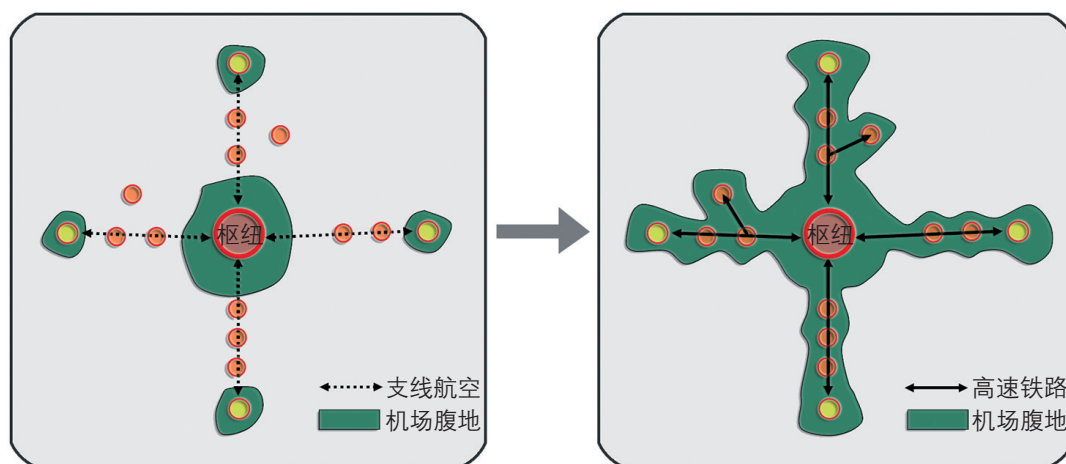


图1 铁路网络对机场腹地的拓展

Fig.1 Effect of railway network on the expanded airport hinterland

对于没有条件构建模式2那样理想的空港枢纽情况下，可以采取一些补救措施减少区域客流换乘的不便性。例如，对于服务方向与空港方向相背离的铁路线路，由于难以在空港设站且接入站往往离空港较远，使得其承载的航空客流需要经过多次换乘才能到达空港。因此，可以考虑充分利用主城区内部的铁路网络，使这些线路的部分班次在到达目的站之后继续运行至距离空港最近的铁路枢纽车站，甚至可以将城市现有铁路直接延伸到空港。此外，机场集团、航空公司、铁路运营商需充分合作，如根据航空公司的航班时刻表制定与其衔接的区域轨道交通列车班次，使区域航空出行真正实现无缝衔接。

3 应用案例

以重庆市江北机场枢纽为例^[4]，应用针对空港枢纽的区域集疏运网络优化方法。

3.1 客流分布预测

2009年重庆市江北机场航空客运量1 404万人次，规划2020年航空客流总量为4 500万人次，2040年为7 000万人次。重庆市与成都市直线距离仅270 km，人口密集的川东、川东北地区是成都和重庆两机场的共同腹地，见图3。重庆市与东部、北部主要城市直线距离均在500 km以上，因此对于北部和东部的潜在腹地，应规划高速交通网络缩短这些地区与重庆空港的时间距离，增强对潜在航空客流的培育和吸引。根据相关规划，

重庆市周边将形成由8条高速铁路/城际轨道走廊、8条高速公路走廊组成的区域快速交通网络，根据高速铁路/城际轨道、高速公路的行驶速度以及区域内各城市与机场的距离，绘制以江北机场为中心的可达性等时线图，形成星状腹地，宜宾、自贡、内江、遂宁、南充、巴中一线成为成渝两市机场辐射能力衰减的分界线，即两市机场腹地分界线，见图4。以江北机场为核心的1.5 h等时圈覆盖人口为3 438万人，3 h交通圈覆盖人口达9 000万人。

通常情况下，城市GDP、总人口数、旅游人数、公路客运量等指标为航空客流吞吐量的主要影响因素^[8-9]。对指标进行比较、筛选，选取7个

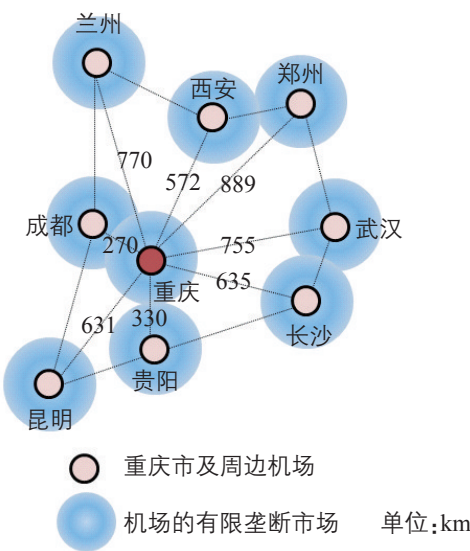


图3 江北机场与周边城市机场腹地竞争态势

Fig.3 Competition between Jiangbei airport and other airports in the surrounding cities

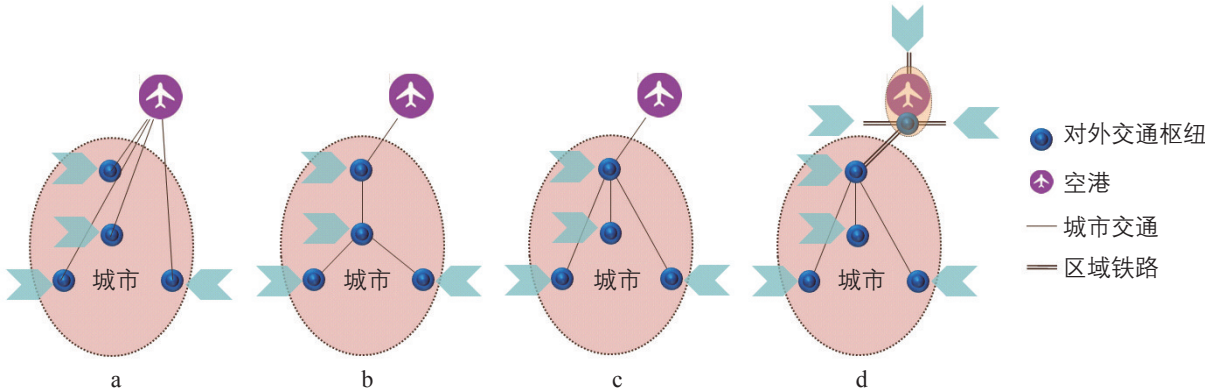


图2 对外交通枢纽与空港的衔接模式

Fig.2 Connecting pattern between the surface transportation network and the airport

具体指标对江北机场腹地客流分布进行预测，见表1。

腹地内43个市、县、区的7个具体指标数值由统计年鉴获得，经标定 r 取1.3；以2008年为基年，根据2000—2008年数据估计各指标增长率；规划年距离系数通过可达性等时图读取；根据前文所述方法预测江北机场腹地内2040年各城市综合评分。根据各城市位置和交通线路走向将江北机场腹地分为东北、东、东南、西南、西北5个片区，见图5，利用各城市综合得分计算各片区客流所占比例，见表2。现状东向和东南向与江北机场联系不便，通过规划高速交通网络可促进这两个方向航空客流的培育。规划年西南和东北两个方向占据区域客流比例最大，这两个方向的集疏运网络与江北机场的衔接应作为优化重点。

3.2 空港集疏运网络衔接优化

1) 铁路。

重庆市有3个铁路客运主枢纽，分别是重庆站、重庆北站和新客站，见图6，不同方向的城际轨道分别接入这三个枢纽站。东北方向的“渝万城际”最具衔接机场的可能，但由于地形原因，“渝万城际”更改线位，无法与江北机场衔接。可行的弥补措施是新建重庆北站至江北机场的铁路支线，并利用重庆市区内已有铁路网络，使得以新客站为终点的来自宜宾、昆明方向的城际列车部分班次向北继续延伸，经重庆北站最终到达江北机场站。

2) 高速公路。

现状江北机场腹地内采用高速公路的航空客流必须先经过内环快速路，再经机场高速到达江

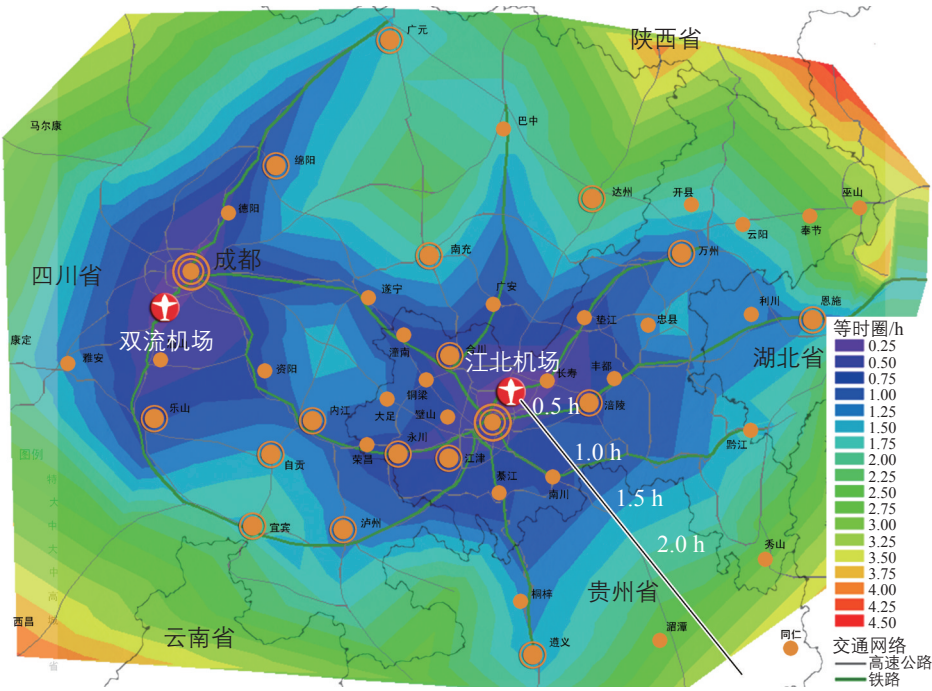


图4 江北机场可达性等时线图
Fig.4 Accessibility to the Jiangbei airport

表1 航空客流主要影响因素及其权重

Tab.1 Main influential factors and their level of impact on air-passenger volume

指标	具体指标(权重)	
经济发展	国内生产总值(0.3)	社会消费品零售总额(0.15)
社会发展	市域总人口(0.2)	职工平均工资(0.1)
旅游吸引	旅游接待人次(0.15)	
综合交通状况	公路客运量(0.05)	铁路客运量(0.05)

北机场，见图 7a。内环快速路现状已接近饱和，这无疑增加了区域航空客流的行程时间。按照规划，重庆市将新建外环高速公路，为避免上述情况发生，宜将腹地内采用高速公路的航空客流引导至交通状况更好的外环，再经渝邻高速－机场专用高速到达江北机场，见图 7b。这样，虽然增加了部分方向的绕行距离，但却避开了市区拥挤的交通状况，有利于区域航空客流快速集散。

对江北机场集疏运网络尤其是区域层面铁路网络衔接进行优化调整后，预计 2020 年区域航空客流比例将从 2009 年 35% 提升至 45%，2040 年预计达到 60% 左右。

4 结语

构建集多种交通方式于一体的空港枢纽已成为当前国际上大型空港的发展趋势。随着空港腹地流动性增强以及区域航空客流增长，为保证稳定的航空客流来源、增强空港在区域中的竞争力，空港必须完善与区域综合交通网络的衔接。

以空港为核心的区域集疏运网络优化方法，以既有区域综合交通网络规划为基础，通过确定空港腹地、分析区域航空客流分布，从而明确空港对区域不同方向航空客流的服务需求与既有规划集疏运网络对航空客流服务能力之间的差距，进而寻求优化调整方案。

参考文献：

References:

[1] 汪泓，周慧艳. 机场运营管理[M]. 北京：清华大学出版社，2008.
WANG Hong, ZHOU Hui-yan. Airport Operation and Management[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
[2] 曹允春. 临空经济：速度经济时代的增长空间[M]. 北京：经济科学出版社，2009.
CAO Yun-chun. Airport Economy: New Growth Pole in Era of Speed Economic[M]. Beijing: Economic Science Press, 2009.
[3] 秦灿灿. 机场衔接城市：大型机场集疏运体系规

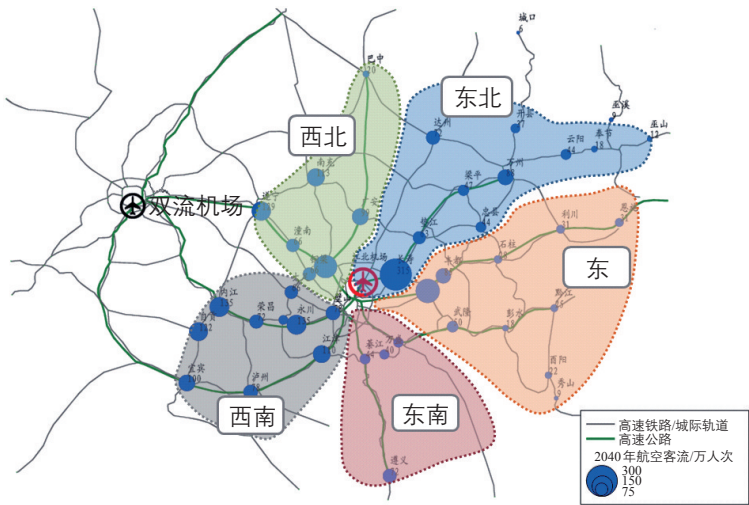


图 5 江北机场区域航空客流分布
Fig.5 Regional air-passenger distribution of Jiangbei airport

表 2 现状及 2040 年区域航空客流比例
Tab.2 Regional air-passenger distribution at present and in 2040

指标	东北	东	东南	西南	西北	合计
调查得到的现状客流比例/%	20.1	4.8	3.7	47.1	24.3	100.0
2040 年分方向综合评分	66.7	38.6	15.3	80.5	45.0	246.1
2040 年分方向客流比例/%	27.1	15.7	6.2	32.7	18.3	100.0

划研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

QIN Can-can. Airport Connect City: Study on Collecting and Distributing Transport System of Major Hub Airport[M]. Beijing: China Architecture

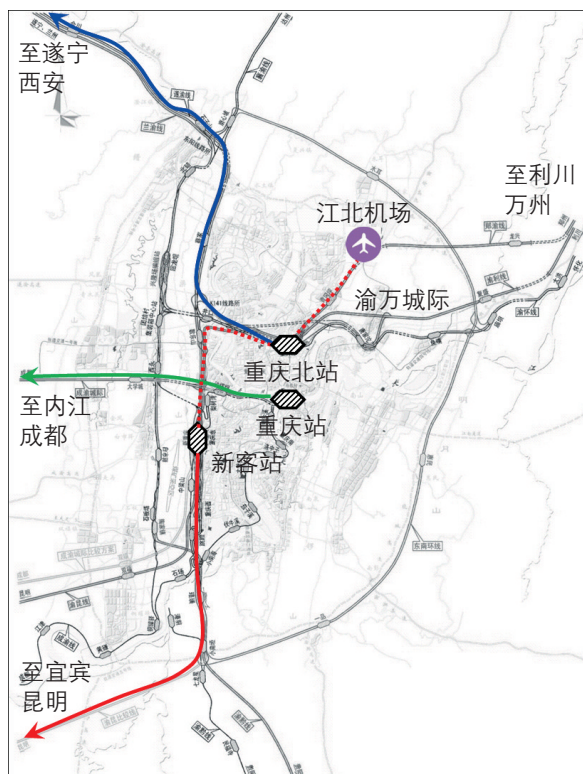
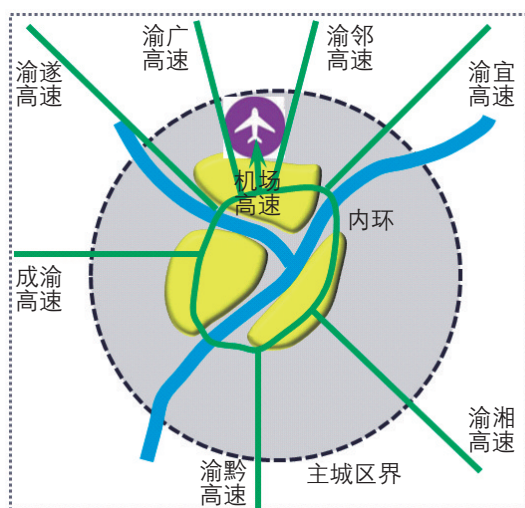
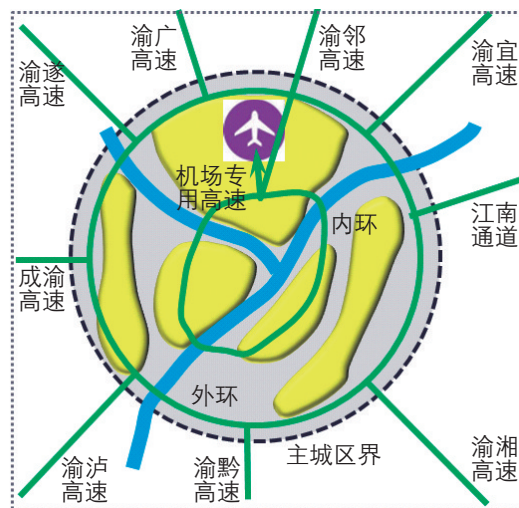


图6 铁路枢纽与江北机场的衔接

Fig.6 Connection between railway terminal and Jiangbei airport



a 现状



b 优化后

图7 高速公路与江北机场的衔接

Fig.7 Connection between the freeways and Jiangbei airport

& Building Press, 2010.

[4] 张国华, 周乐, 郝媛, 等. 重庆江北机场枢纽地区整体交通规划设计[R]. 北京: 中国城市规划设计研究院, 2010.

[5] 张国华, 周乐, 李凌岚. 全球化和市场化背景下我国机场发展战略的探讨[J]. 民航管理, 2009, 3(221): 52 - 57.

ZHANG Guo-hua, ZHOU Le, LI Ling-lan. Arguments Concern about the Strategy of Domestic Airports Development under the Background of Globalization and Marketization[J]. Civil Aviation Management, 2009, 3(221): 52 - 57.

[6] 张国华, 李凌岚, 周乐, 等. 长沙黄花机场发展战略前期研究[R]. 北京: 中国城市规划设计研究院, 2009.

[7] 张国华, 李凌岚, 周乐, 等. 黄花航空城暨高铁站地区发展战略[R]. 北京: 中国城市规划设计研究院, 2009.

[8] 张子栋, 徐建红. 机场旅客吞吐量主要影响因素[J]. 城市交通, 2007, 5(6): 54 - 57.

ZHANG Zi-dong, XU Jian-hong. An Analysis of Major Factors on Airport Passenger Volumes[J]. Urban Transport of China, 2007, 5(6): 54 - 57.

[9] 中国国际工程咨询公司. 全国民用航空运输机场2020年布局 and “十一五”建设规划研究报告[R]. 北京: 中国国际工程咨询公司, 2005.