

内部资料



北京交通大学
Beijing Jiaotong University

双碳目标下高速铁路与民航 出行结构优化策略研究

研究报告



北京交通大学
中国综合交通研究中心

目 录

1 研究背景.....	1
2 高速铁路与民航客运市场特征分析.....	4
2.1 全国客运市场需求特征分析.....	5
2.1.1 全国客运市场需求特征	5
2.1.2 高速铁路客运市场需求特征	8
2.1.3 民航客运市场需求特征	10
2.1.4 高速铁路与民航客运市场对比分析	11
2.2 客运市场需求区域特征分析.....	14
2.1.2 客运市场需求区域特征	14
2.2.2 铁路与民航客运市场需求区域特征	15
2.3 本章小结.....	19
3 高速铁路与民航供给水平与服务水平分析.....	21
3.1 高速铁路与民航设施水平与供给水平分析.....	21
3.1.1 高速铁路与民航设施分布特征	21
3.1.2 高速铁路与民航枢纽的服务供给水平	25
3.1.3 高速铁路与民航枢纽的辐射范围	30
3.1.4 高速铁路与民航枢纽等时圈覆盖范围	33
3.2 高速铁路与民航设施利用率.....	36
3.2.1 高速铁路能力利用率	36
3.2.2 民航设施利用率	38
3.3 高速铁路与民航接续交通服务水平评估.....	40
3.3.1 高速铁路与民航端点接续交通便捷度对比	40
3.3.2 高速铁路与民航端点接续交通问卷调查结果分析	45
3.3.3 考虑全出行链的高速铁路与民航平均速度	54
3.4 高速铁路与民航发展规划.....	57
3.5 本章小结.....	59
4 高速铁路与民航全过程碳排放水平分析.....	62
4.1 高速铁路的能耗与排放效能.....	63

4.1.1 研究边界	63
4.1.2 能耗及碳排放计算模型	64
4.1.3 高速铁路运输全过程碳排放	66
4.2 民航的能耗与排放效能.....	72
4.2.1 民航飞行过程能耗与碳排放概况	72
4.2.2 民航客运全过程碳排放	75
4.2.3 民航飞行过程碳排放影响因素分析	79
4.3 本章小结.....	86
5 我国客运业结构优化策略研究.....	88
5.1 我国客运业结构存在问题分析.....	89
5.2 双碳目标下发挥高铁与民航优势的客运结构改革策略.....	91
5.2.1 民航与高铁客运市场需求预测	91
5.2.2 不同情景下民航与高铁对应的碳排放效果研究	93
5.2.3 双碳战略下发挥高铁与民航优势、优化区域综合交通结构的建议.....	97
5.3 高速铁路与民航票价水平优化策略.....	100
5.3.1 高速铁路与民航运价率水平的区域特征分析	100
5.3.2 高速铁路与民航运价率水平对比分析	104
5.3.3 高铁票制市场化改革策略	113
5.4 双碳战略下我国支线机场经营与发展策略研究.....	118
5.4.1 经停策略利弊	119
5.4.2 支线机场发展策略	123
5.5 本章小结.....	125
6 结论与建议.....	127
参考文献.....	133
附录 调查问卷.....	135

1 研究背景

全球气候变化日益成为影响各国经济发展和居民生活的关键因素。2018 年全球年平均温度较工业化前水平高出约 1°C ，联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 指出按照目前趋势最快可能在 2030 年达到全球气温升幅 1.5°C 。为此，《巴黎协定》确定了应对全球气候变化的长期目标：到 21 世纪末将全球气温升幅控制在工业化前水平基础上不超过 2°C ，并努力控制在 1.5°C 以内，尽快实现全球温室气体排放达峰，并在 21 世纪下半叶实现温室气体净零排放。

在全球应对气候变化的共同背景下，从推动实现可持续发展的内在要求和构建人类命运共同体的责任担当出发，中国国家主席习近平 2020 年 9 月在中外领导人气候视频峰会中宣布了碳排放“力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”的目标愿景。这一目标给全国各行业的发展提出了新的要求。

交通运输业是二氧化碳的净排放部门，不少发达国家在 20 世纪 90 年代就已经碳达峰。我国目前离承诺碳达峰的时间已不足 10 年，碳达峰与碳中和间的时间也只有 30 年，碳减排任务十分艰巨。据国际能源组织 (IEA) 统计，2010-2019 年我国交通部门碳排放增长率为 58%。清华大学《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》预计 2030 年我国交通部门二氧化碳排放将达 10.37-11.55 亿吨，现有政策背景下碳达峰时间将晚于 2035 年；IEA 也认为交通部门将有可能成为中国 2040 年前唯一不能实现碳达峰的部门。因此，在双碳战略背景下，作为国民经济的基础设施部门，交通运输行业在有效支撑国民经济运行与发展的前提下，进行系统结构的调整与优化优化，为双碳目标的实现做出更大贡献，具有重要现实意义。

过去十多年来，高铁与民航作为支撑“全国 123 出行交通圈”的重要交通方式取得了巨大发展。自 2008 年首条时速 350km 的京津城际铁路开通以来，2010 年内地高速铁路里程达到 5133 公里，占铁路总里程的 5.6%。到 2021 年末，全国高速铁路运营里程已达到 4.0 万 km，在铁路营业总里程中的占比达 26.6%。高速铁路的发展极大地推动了铁路客运市场的发展。据统计，铁路行业完成的客

运量与客运周转量在全方式中的占比也从 2010 年的 5.13%与 31.41%上升到 2019 年的 20.79%与 41.61%，2021 年达到了 31.46%与 48.43%。

与此同时，民航运输业也取得了显著进步。全国颁证运输机场数量从 2010 年的 175 个增加到了 2021 年的 248 个。民航完成的客运量与客运周转量从 2010 年的 0.82%和 7.92%增加到了 2019 年的 3.75%和 33.11%以及 2021 年的 5.31%和 33.05%。在未来高质量发展目标下，如何充分、高效、合理地运用运输资源是促进我国社会经济高质量发展的重要课题。

中国经济的持续发展给交通运输业的需求带来了显著增长。2019 年全国客运周转量较 2010 年增长了 26.7%，是 2000 年的 2.88 倍。在近年来快速城市化与机动化的背景下，营运性公路客运市场急剧萎缩，2019 年公路客运周转量较 2010 年下降了 41%。这些较短距离的出行一部分转向了高速铁路，另一部分则转向了个人小客车。

2020 年我国运营的 240 个机场完成的总旅客吞吐量 8.57 亿人次。这些机场中，吞吐量超过 1000 万的机场仅 27 个，年客运吞吐量低于 10 万人次的机场 37 个。吞吐量在 50 万以下的机场 120 个，占 50%。不难看出，吞吐量 100 万人次以下的这些机场（多是支线机场）占全部机场的比例达到 64.6%，它们多数没有达到设计能力，航班班次频率低，对旅客的吸引力不足。

根据 2020 年铁路部门统计，发送量最大的高铁广州南站年发送量达到了 5967 万人次，折合吞吐量接近 1.2 亿人次；有 37 个铁路车站发送量超过 500 万人次，折合吞吐量近 1000 万人次，超过同运量规模机场数量。据国家铁路局的数据，我国高铁已覆盖全国 93%的 50 万以上人口的城市。按照国家“十四五”现代综合交通运输体系发展规划：2025 年 250 公里及以上时速标准的高速铁路网对 50 万人口以上城市覆盖率将达到 95%以上。铁路完成的客运量中，高速铁路完成的客运量与客运周转量占比也从 2010 年的 8%与 5.3%上升到 2019 年的 64.4%与 52.7%以及 2021 年的 73.6%与 63.4%。

根据《2020 能源数据》，2019 年道路运输、铁路运输、水路运输和民航运输碳排放量在交通运输部门总排放量分别占 73.6%、6.1%、9.0%和 11.3%。2010-2019

年间,4种运输方式CO₂排放量的年均增长率分别为6.4%、5.5%、2.7%和13.0%,其中民航增速最快。由于目前铁路运输的电气化比重已达75%,随着能源动力结构的进一步调整,推动铁路旅客运输份额的增长可望进一步降低碳排放量。目前,我国机场地面保障车辆的电动化、清洁化水平不断提高,2019年电力、天然气、外购热力占比达到83%,但依靠进口航空器的减排依然面临巨大压力。资料表明,我国航空客运二氧化碳排放因子均值约为0.097kg/人公里,高于普速铁路的0.011kg/人公里、高速动车组列车(G字头)的0.019kg/人公里。

根据《交通强国建设纲要》,2035年中国铁路网运营里程将达到20万km左右,其中高铁约7万km。2035年中国机场规划机场数量也将达到400个。在繁重的碳减排任务下,如何用好民航与高铁这两种适宜中长距离出行、具有较高服务水平的出行工具,促进中距离出行范围内高铁与民航间的合理分工对双碳战略的实现具有重要价值。

本课题通过对我国高速铁路与民航运输的系统研究,在既有资源配置的基础上,以满足居民高质量出行为前提,推进高铁与民航供给侧改革,发挥高铁低碳与民航长距离服务优势,提升欠发达地区的出行服务水平,研究在不同供给策略与需求规模水平情况下,提出面向2030年碳达峰、2035年交通强国战略实现的、促进高速铁路与民航客运出行结构优化的策略与政策建议。

2 高速铁路与民航客运市场特征分析

本章调研了 2008-2021 年我国总客运量及客运周转量、高铁与民航客运量及客运周转量等数据,通过总结高铁与民航两种运输方式客运量及客运周转量的占比变化情况,分析我国整体客运市场特征及地区间客运结构的差异。在此基础上,分别计算我国高铁与民航的人均出行次数和平均运距,总结二者的客运市场需求历史趋势。接着,以东部地区的广东省、福建省,西部地区的四川省、云南省、甘肃省为研究对象,归纳高铁和民航客运市场需求的区域特征。最后,对比我国高铁和民航客运市场需求的演变规律,分析形成差异的原因,并总结不同区域的客运需求特征。

2.1 全国客运市场需求特征分析

本节首先梳理全国客运市场客运量、周转量演变趋势以及高铁与民航在我国客运市场中地位变化。其次,结合人均出行次数、平均运距等指标,分析高铁与民航客运市场需求特征。最后,从平均运距角度分析高铁与民航竞争互补关系。

2.1.1 全国客运市场需求特征

随着我国经济的高速发展,高铁与民航网络逐步成型,我国客运周转量总体呈上升趋势。图 2-1 统计了 2008-2021 年我国客运量及客运周转量变化趋势。

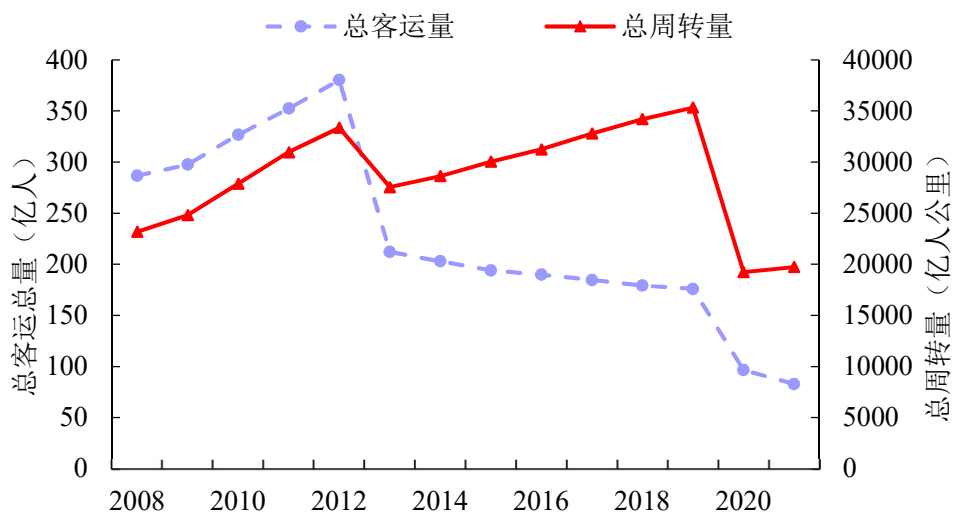


图 2-1 2008-2021 年我国客运量及周转量变化

可以看出，自 2008 年高铁开通运营以来，我国营运性客运市场经历了三个阶段：（1）2008 至 2012 年：随着经济高速发展，交通网络加密，我国客运量与周转量逐年增大，客运量从 2008 年的 286.8 亿人增长至 2012 年的 380.4 亿人，周转量增长 43.9%。（2）2013 年后：我国客运量统计口径改变，城市公交和出租车不再计入公路运输量，短途运输占比下降，客运量呈下降趋势，周转量则呈上升趋势。2013 至 2019 年：我国客运总量从 212.3 亿人降至 176.0 亿人，周转量上升 28.2%，营运性交通方式平均运距上升。（3）2020 年受新冠疫情影响，国内营运性客运量同比 2019 年下降 45.1%，周转量下降 45.5%。

2021 年我国高铁里程突破 4 万公里，占铁路营业里程 26.6%，通达 93% 的 50 万人口以上城市。“四纵四横”高铁网已全面建成，“八纵八横”高铁网加密形成。民航方面，我国的定期航班航线数量从 2012 年的 2457 条增至 2021 年的 4864 条，定期航班国内通航城市从 2012 年的 178 个增至 2021 年的 244 个。高铁与民航的飞速发展改变了我国以公路客运为主的营运性客运结构。图 2-2、图 2-3 分别统计了 2008-2021 年我国高铁、民航客运量及占全方式客运量比例变化。

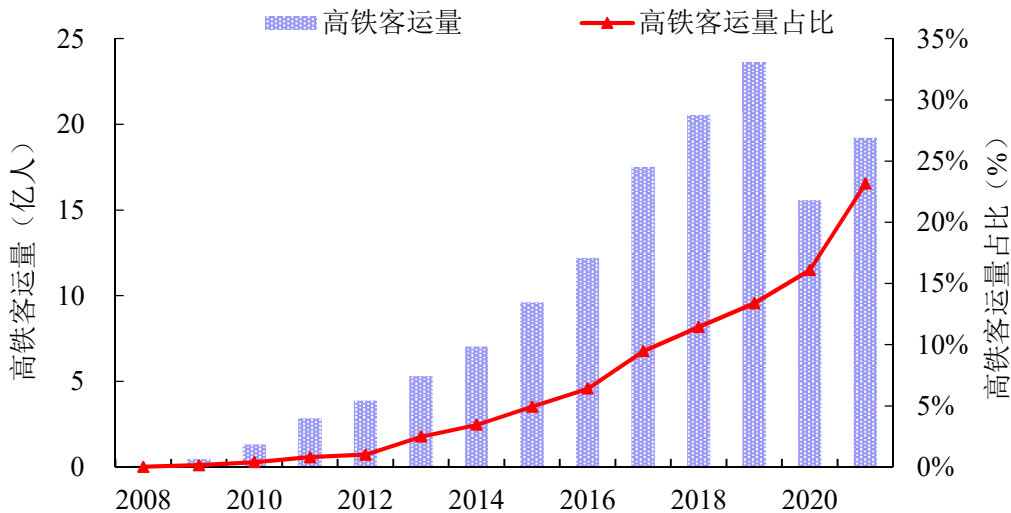


图 2-2 2008-2021 年我国高铁客运量及其占比变化

从图 2-2 可以看出，自 2008 年我国高铁投入使用以来，高铁客运量迅速增长，到 2019 年，我国高铁客运量达到 23.6 亿人，年增长率高达 69%，同时高铁客运量在全方式客运总量中的占比达到了 13.4%，到 2021 年这一比例增至 23.2%。高铁以其速度快、服务质量高、正点率高的优点，深受旅客青睐，逐渐成为客运结构中不可缺少的一部分，发展潜力较大。

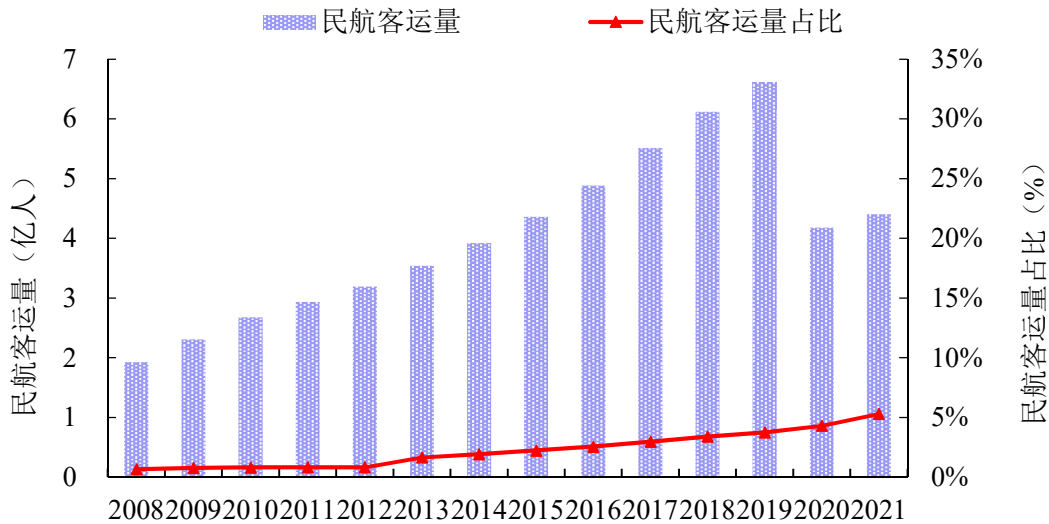


图 2-3 2008-2021 年我国民航客运量及其占比变化

民航客运量总体呈上升趋势，但在高铁快速发展的竞争下，增速低于高铁。2008 年至 2019 年，我国民航客运量从 1.9 亿人增至 6.6 亿人，年增长率为 11.9%，2019 年民航客运量在全方式客运总量中的占比达到了 3.7%，到 2021 年这一比例增至 5.3%，但民航承担的客运量比例低于高铁。

图 2-4、图 2-5 分别统计了 2008-2021 年我国高铁、民航客运周转量及占全方式客运周转量比例变化。

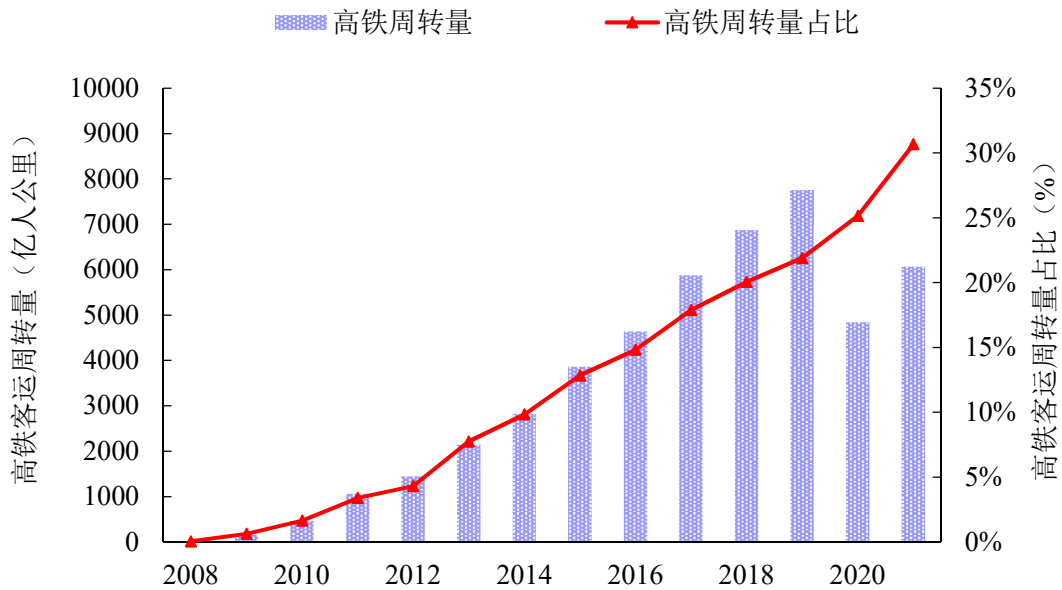


图 2-4 2008-2021 年我国高铁客运周转量及其占比变化

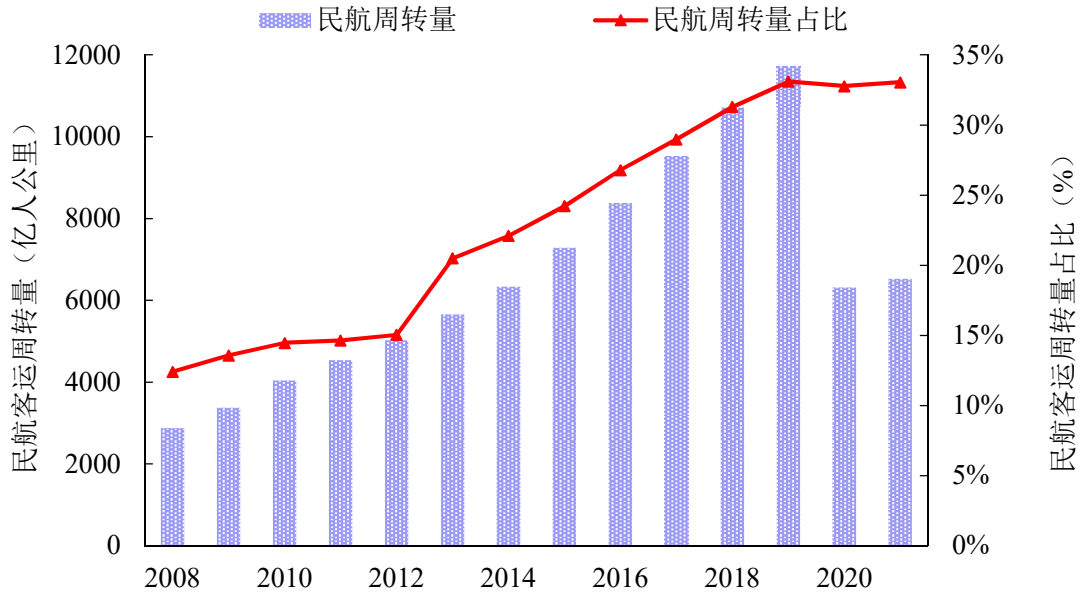


图 2-5 2008-2021 年我国民航客运周转量及其占比变化

2008 至 2019 年，我国高铁客运周转量由 15.6 亿人公里增至 7746.7 亿人公里，周转量占比由 0.1% 增至 21.9%。民航方面，客运周转量由 2882.8 亿人公里增至 11705 亿人公里，周转量占比由 12.4% 增至 33.1%。2019 年二者周转量占比之和达到 55.0%，2021 年达到 63.7%，成为城际间营运性客运方式的重要支柱。其中，民航因其平均运距远高于高铁，虽然客运量规模相对较小，但承担的周转量更大。高铁周转量的增速高于民航。

2.1.2 高速铁路客运市场需求特征

自 2008 年京津城际铁路开通以来，我国正式步入高铁时代。高铁客运量从 2008 年至 2019 年呈逐年增长态势，2012 年后年均增幅保持在 30% 左右。2020 年受新冠疫情影响，高铁客运量下降明显，降幅为 33.98%，2021 年高铁客运量有所回升。同样，高铁客运周转量在 2008-2019 年期间逐年增长，2020 年较 2019 年下降了 37.46%，2021 年客运周转量较 2020 年增长了 25.17%。

人均出行次数，表示区域内某交通方式年客运量与区域人口的比值，与区域内旅客选择该方式出行的意愿程度和该方式的服务水平有关。从图 2-6 可以看出，2008-2019 年高铁人均出行次数逐年增加，由 2008 年的 0.01 次增加到 2019 年的 1.67 次，这是因为随高铁网络快速完善，高铁在客运市场中准点率高、快捷舒适

的竞争优势凸显，受到旅客们的青睐。2020 年因爆发新冠疫情，高铁人均出行次数下降至 1.10 次。

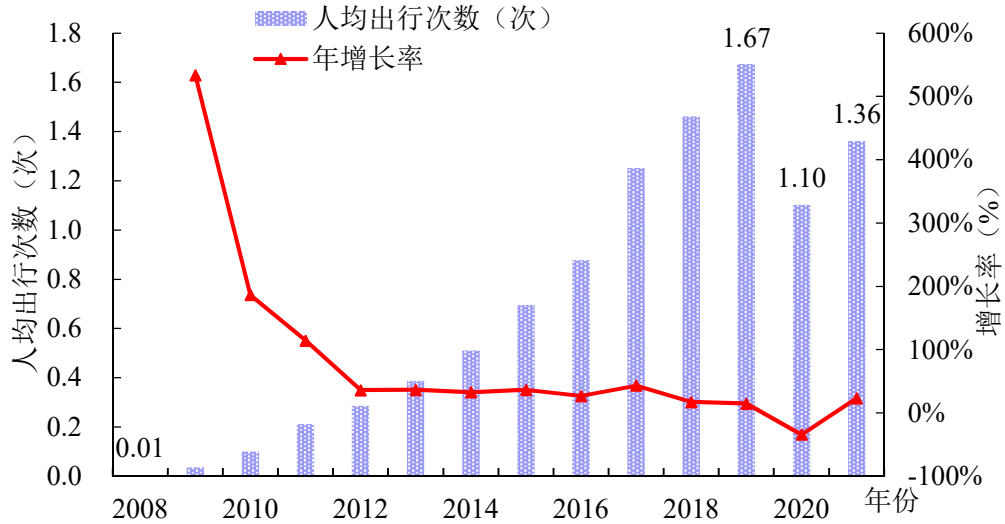


图 2-6 2008-2021 年我国高铁人均出行次数

平均运距，表示区域内某方式年客运周转量与客运量的比值，反映了该方式的优势运距，与该方式的接续便捷性、速度等因素有关。图 2-7 给出了 2008-2021 我国高铁平均运距的变化情况。

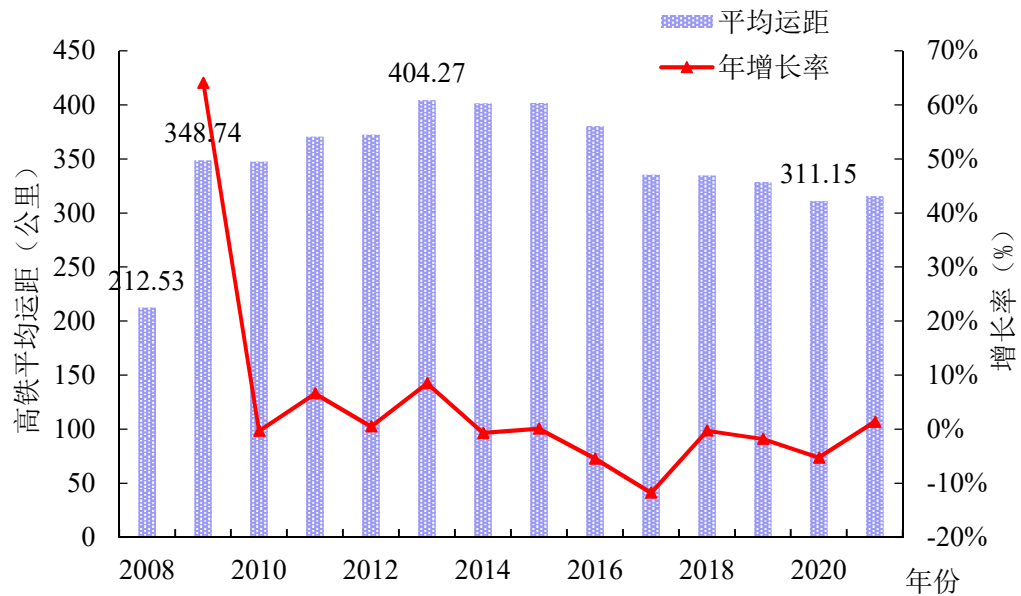


图 2-7 2008-2021 年我国高铁客运平均运距变化情况

我国高铁客运平均运距从2008年的212.5公里激增至2009年的348.7公里，而后平稳增长至2013年的404.3公里。2013-2020年期间平均运距呈下降态势，2020下降至311.2公里。主要原因为高铁速度和票价优势使公路客运市场进一步向高铁转移。综合来看，高铁主要服务中短途旅客出行。

2.1.3 民航客运市场需求特征

民航人均出行次数，可通过年民航客运量与同年全国人口总数的比值来刻画。从图2-8可以看出，2019年及以前民航人均出行次数逐年上升，从2000年的0.05次增长到2019年的0.47次，2011-2019年一直维持年增长率10%的水平，乘客对民航的需求日益增加。受疫情影响，2020年我国民航人均出行次数首次出现大幅下降的现象，2021年稍有回升。

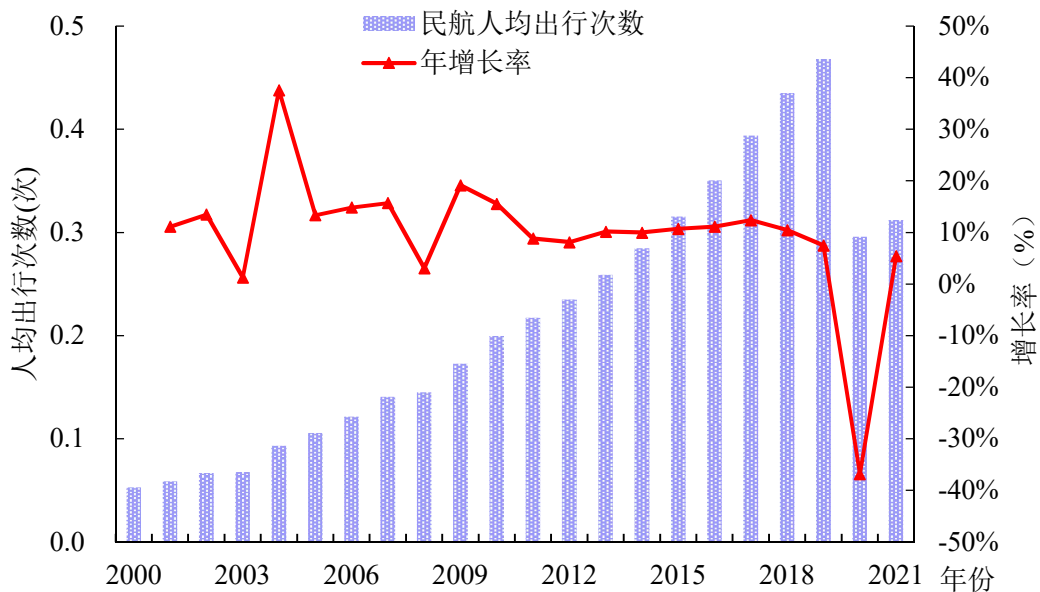


图 2-8 2000-2021 年我国民航人均出行次数

民航客运平均运距（不含国际航班），可通过年民航客运周转量与同年民航客运量的比值来刻画。图2-9给出了2000-2021年我国民航平均运距变化情况，2000-2019年期间民航平均运距呈波动式上升，由1443.83公里增至1773.72公里，反映出民航主要服务中长距离出行的旅客。

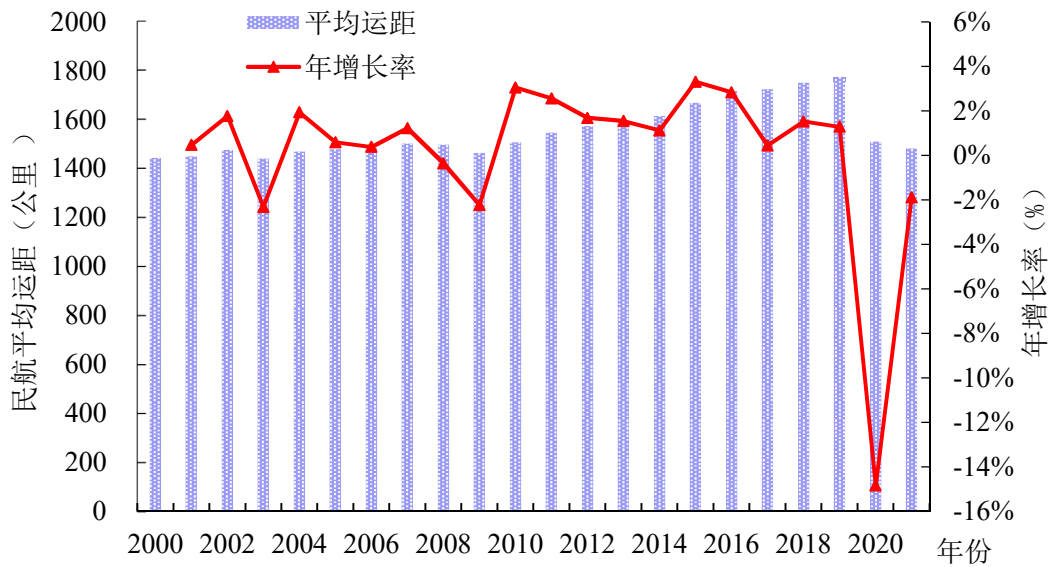


图 2-9 2000-2021 年我国民航平均运距变化情况

民航客运市场需求规模在 2019 年以前一直呈稳步上升态势，客运量和客运周转量均有所增长，随着经济水平不断提升，民航人均出行次数逐年上升。高铁在中短距离的优势，与民航基础设施持续建设，航线网络优化完备，共同促使民航平均运距增长。

2.1.4 高速铁路与民航客运市场对比分析

高铁凭借其接续交通便捷性、票价优势，与民航形成了较为显著的竞争关系。高铁与民航平均运距的变化趋势如图 2-10 所示。随着网络的逐步完善，高铁在短距离和中短距离市场取得优势地位，2013 年平均运距达到峰值 404 公里后，公路客运市场进一步向高铁转移，2019 年平均运距下降至 328 公里。民航部分中短距离运输转移至高铁，市场收窄。2010-2019 年我国高铁运营里程由 0.5 万公里提升至 3.5 万公里，增长超过 7 倍，客运量增长超过 17 倍，使得同一时期民航客运短距离市场压缩，长距离市场占比提升，10 年间民航客运平均运距由 1509 公里稳步上升至 1774 公里。对比 2000-2010 年，民航客运平均运距保持在 1400-1500 公里水平。此外，与我国面积水平相当的美国，由于客运铁路竞争力较小，民航的平均运距保持在 1100 公里左右。因此，高铁的建成运行使得高铁与民航在中短距离和中长距离各自发挥竞争优势，互补关系日益显著。

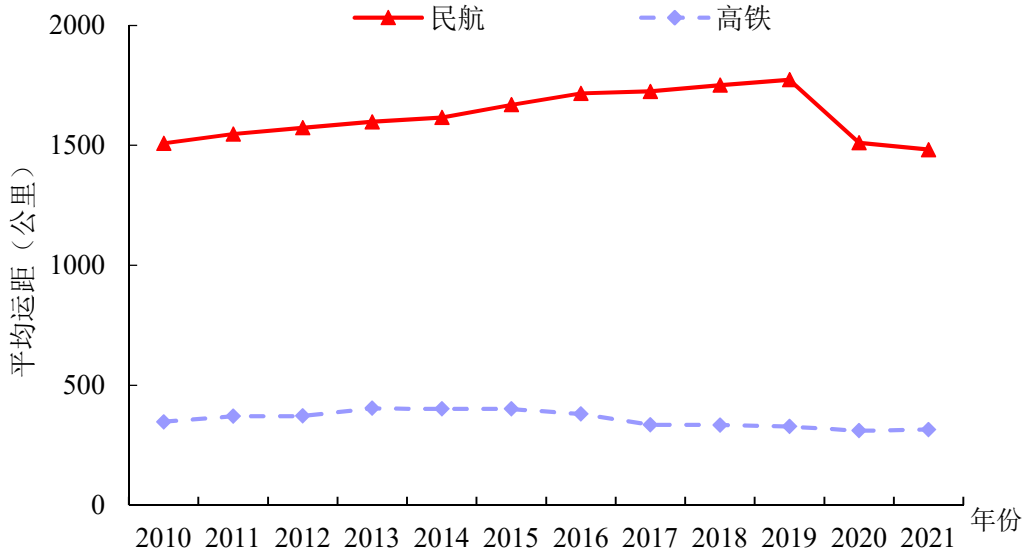


图 2-10 2010-2021 年我国高铁与民航平均运距对比图

根据 2010-2021 年《从统计看民航》中国内主要航段运量的统计结果，我国民航主要航段中，600km 以下短距离旅客运输量占比呈现下降趋势。2010 年 600km 以下主要航段的旅客运输量占比为 16.0%，2015 年下降至 10.9%，2019 年达到 8.3%。其中区域特征显著，相较东部地区，我国西部地区对民航的依赖较强，高铁服务优势未能充分发挥。西部地区具有地广人稀的特点，600km 以下航段旅客运输量占比较大，2015、2019 年占比超过 50%。

根据飞常准网站航线数据，结合 Gcmap 网站中航线里程数据，分析我国 2023 年 2 月 21 日各机场计划直达航班及经停航班的航线里程分布如图 2-11、图 2-12 所示。全国各机场计划航班数 16429 次，其中直达航班 13780 次，占比 83.9%，经停航班 2649 次，占比 16.1%。

可以看出，我国民航直达航班的航线里程主要分布在 500-1500km，占直达航班的 64.6%，其中航程在 1000-1500km 的航班占比最大，占比 37.8%。航程在 500km 以下的短距离直达航班，以及 2000km 以上的长距离直达航班较少，占比分别为 6.5%、9.1%。

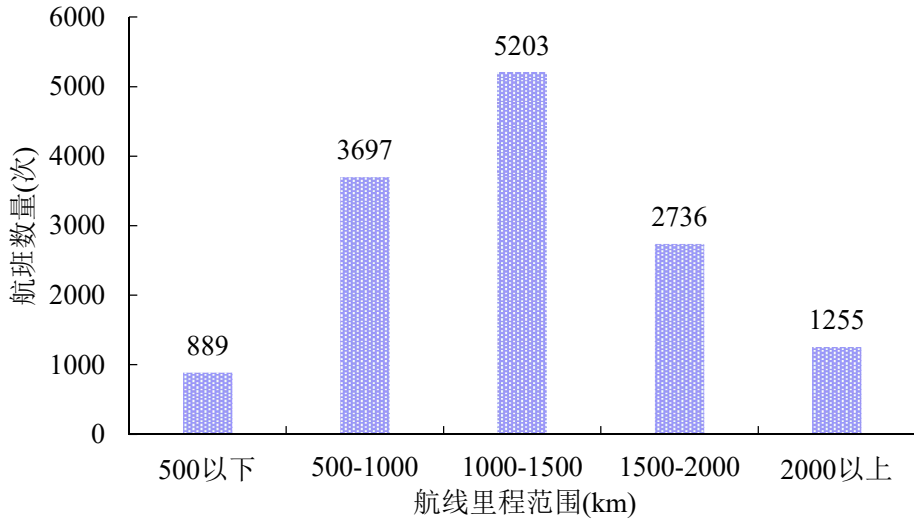


图 2-11 我国直达航班航线里程分布

数据来源：全国各机场航线数据来源于飞常准网站(map.variflight.com, 2023-02-21 计划航班)，各航线里程数据来源于 www.gcmmap.com。其中，新疆阿拉尔塔里木机场数据缺失，采用高德地图获取航线机场间直线距离。

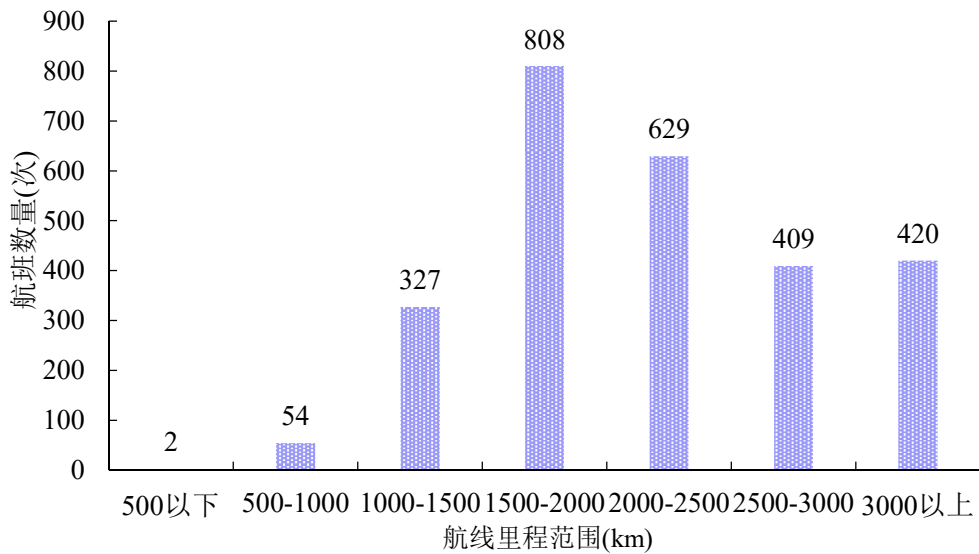


图 2-12 我国经停航班航线里程分布

数据来源：同图 2-11。

可以看出，我国民航经停航班的航线里程主要分布在 1500-2500km，占经停航班的 54.2%，其中航程在 1500-2000km 的航班占比最大，为 30.5%。经停航班主要服务于长距离航线，500km 以下的航班仅 2 次，500-1000km 的航班仅 54 次，而 2000km 以上的长距离航班占比超过 55.0%。

2.2 客运市场需求区域特征分析

本节选取东部区域的广东省、福建省，西部地区的四川省、云南省、甘肃省为研究对象，分析东、西部客运市场的区域特征。

2.1.2 客运市场需求区域特征

图 2-13、图 2-14 统计了 2021 年案例省份铁路、公路、民航三种运输方式的客运量及周转量占比情况。

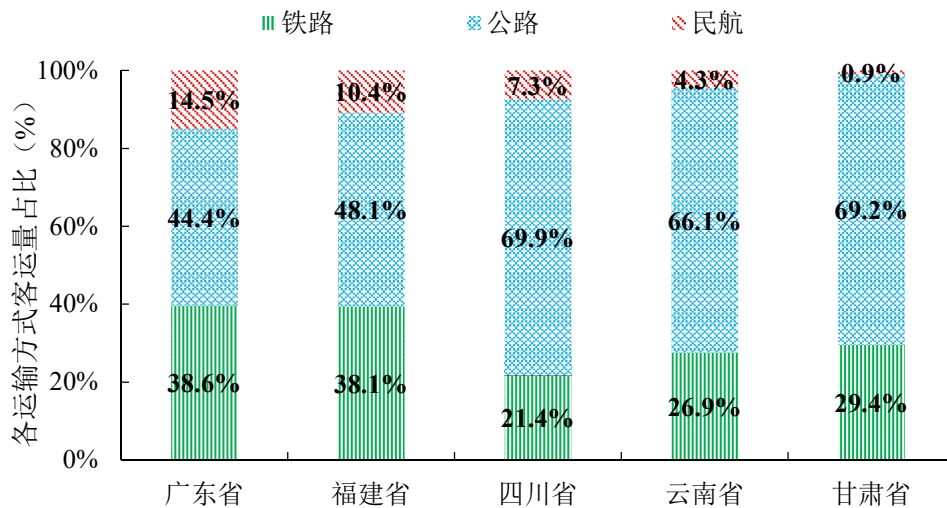


图 2-13 2021 年我国不同省份各运输方式客运量占比

从客运量结构来看，广东省、福建省铁路客运量的占比分别为 38.6%、38.1%，而西部三省的这一比例为 21.4%-29.4%，东部区域的铁路客运量占比明显大于西部地区，这主要是因为广东省、福建省地处我国东南沿海地区，经济发达、人口密度较大、整体客运需求旺盛，铁路线路密度更高。民航占比出现相似特征，广东省、福建省的民航客运量占比分别为 14.5%、10.4%，而西部三省仅 0.9%-7.3%。东部地区经济水平较高，民航出行需求和意愿较高。总体来看，东部地区旅客选择铁路、民航方式的出行意愿较强，西部地区高铁与民航服务水平较低，对旅客的吸引力较低。

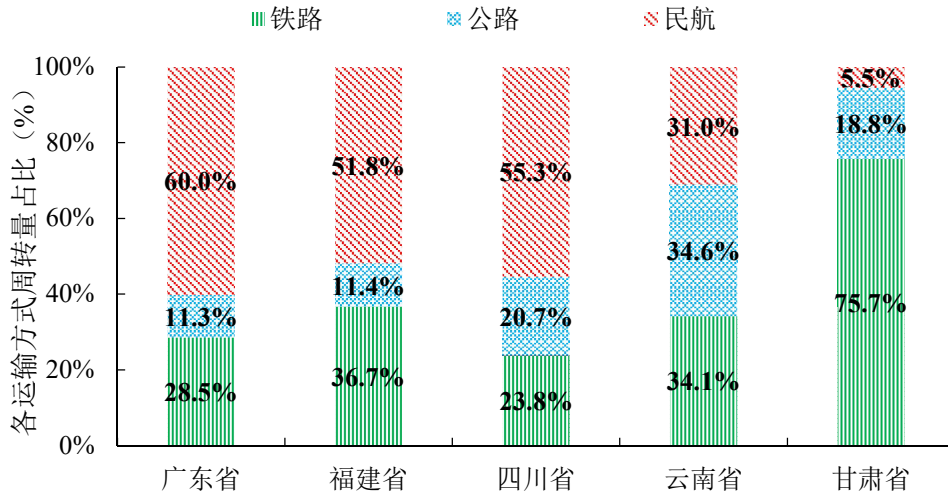


图 2-14 2021 年我国不同省份各运输方式周转量占比

从周转量结构来看，2021 年我国案例省份的客运周转量主要由铁路与民航两种运输方式承担，但东、西部两运输方式周转量占比之和有一定差距。东部地区的广东省、福建省这一比例达到了 88.5%-88.6%，西部区域仅 65.1%-81.2%。一方面原因是西部地区经济水平、地理位置的差异限制了铁路与民航的出行需求，另一方面西部地区铁路与民航的基础设施供给水平难以满足潜在的出行需求。

具体分析地区间铁路与民航的周转量差异可以发现，东部地区案例省份及西部地区四川省的民航周转量占比均超过了 50%。这是因为民航的次均出行距离较长，且东南沿海省份民航的客运量占比相对较大，航班次数多，民航周转量占比较大。四川省位于我国西南地区，土地面积较大，地形较为复杂，部分地区缺乏铁路网覆盖，民航完成了 55.3%的客运周转量。西部地区的云南省铁路、公路、民航完成客运周转量的比例相当。甘肃省则是依赖铁路完成客运周转量，这是因为甘肃省经济发展水平较低，且机场距离市中心较远，机场接驳线路较少，这些原因限制了旅客选择民航出行的意愿。

2.2.2 铁路与民航客运市场需求区域特征

各区域铁路运量、客运周转量、人均出行次数和次均出行距离受地理位置、经济发展水平、铁路线网密度等因素影响。表 2-1 给出了我国东、西部五个典型省份的铁路客运市场需求相关数据。2019-2021 年各省份铁路人均出行次数基本在 1 次以上，次均出行距离主要在[200,600]公里范围。

表 2-1 五省份铁路客运市场需求相关数据

省份	年份	铁路客运量 (万人) ^[1]	铁路客运周转 量(亿人公里) ^[1]	人口(万 人) ^[2]	人均出行 次数(次)	次均出行距 离(公里)
广东	2019	38213	696.92	12489	3.06	182.38
	2020	22609	448.56	12624	1.79	198.40
	2021	20313	497.75	12684	1.60	245.04
福建	2019	12741	396.25	4137	3.08	311.00
	2020	7539	223.16	4161	1.81	296.01
	2021	8350	238.64	4187	1.99	285.80
四川	2019	17211	402.80	8351	2.06	234.04
	2020	11210	254.30	8371	1.34	226.85
	2021	13890	310.70	8372	1.66	223.69
云南	2019	8000	181.75	4714	1.70	227.19
	2020	5200	117.39	4722	1.10	225.75
	2021	6100	136.28	4690	1.30	223.41
甘肃	2019	5969	419.10	2509	2.38	702.14
	2020	4153	237.90	2501	1.66	572.80
	2021	4601	269.10	2490	1.85	584.82

数据来源:

[1] 由各省 2020、2021、2022 年统计年鉴得到各省铁路客运量和客运周转量。

[2] 根据中国统计年鉴 2021-分地区年末人口数（2020）统计得到 2020 年各省总人口数。

首先分析新冠疫情前各省份的铁路客运市场需求情况。2019 年，广东省与福建省的铁路人均出行次数高于西部地区的三个省份，分别为 3.06 次、3.08 次。原因为，处于华南的广东省、福建省与周边省市之间经济联系、人员往来密切，且相较于其他方式，铁路更为经济便捷，旅客乘坐铁路意愿较强，与东部地区省份相比，西部地区由于其经济发展水平与人口密度较低，高铁线路开通较少，导致西部地区旅客出行需求低，人均出行次数低于东部地区。

五省的次均出行距离差距较大，2019 年，广东省的次均出行距离偏小，为 182.38 公里，主要因为广东省开通多条城际铁路线路，旅客短途出行需求量大。甘肃省的次均出行距离在五省份中最长，达 702.14 公里，因该省份位于我国西北部地区，与我国经济更为发达的东部、东南部、南部地区距离较远，旅客的出行距离相对较长。四川省和云南省在我国西南地区，距发达地区距离相对较近，旅客的出行距离在 220-240 公里区间内。

我国东、西部地区五个省份的民航客运市场需求相关数据如表 2-2 所示。总体来看，未受疫情影响时东部地区省份的民航人均出行次数高于西部地区省份。具体对比各省份民航人均出行次数可知，2019 年广东省最高、甘肃省最低，分别为 1.12 次、0.07 次，甘肃省旅客民航的出行需求远低于广东省，原因在于甘肃省经济条件相对较差，民航设施设备与出行需求均不足；福建省和云南省人口数量相对接近，但福建省 2019 年的人均出行次数是云南省的 2.81 倍，福建省的民航出行需求量远超云南省。相较于西部地区其他两个案例省份，四川省的经济条件较好，人口基数大，建有 16 个民航机场，数量位列全国第三，部分地区旅客依赖民航出行，人均出行次数与东部地区省份差距相对较小。

表 2-2 五省民航人均出行次数与次均出行距离

省份	年份	民航客运量(万人) ^[1]	民航客运周转量(亿人公里) ^[1]	人口(万人) ^[2]	人均出行次数(次)	次均出行距离(公里)
广东	2019	13931	2639.10	12489	1.12	1894.41
	2020	8878	1426.35	12624	0.70	1606.61
	2021	8954	1404.87	12684	0.71	1569.02
福建	2019	3618	601.13	4137	0.87	1661.46
	2020	2327	347.40	4161	0.56	1493.07
	2021	2279	336.92	4187	0.54	1478.35
四川	2019	6386	1106.80	8351	0.76	1733.17
	2020	4316	657.80	8371	0.52	1524.10
	2021	4734	721.30	8372	0.57	1523.66
云南	2019	1472	196.99	4714	0.31	1337.97
	2020	957	119.46	4722	0.20	1248.93
	2021	987	123.82	4690	0.21	1255.14
甘肃	2019	188	27.68	2509	0.07	1472.34
	2020	144	20.89	2501	0.06	1450.69
	2021	141	19.63	2490	0.06	1392.20

数据来源：

[1] 由各省 2020、2021 年统计年鉴得到各省民航客运量和客运周转量。

[2] 根据中国统计年鉴 2021-分地区年末人口数（2020）统计得到 2020 年各省总人口数。

对比各省份民航次均出行距离，2019 年广东省最高、云南省最低，分别为 1894.41 公里、1337.98 公里。广东省地处我国大陆最南端，与多数省份距离较远，长距离出行旅客将首选快捷的民航方式。其余三个案例省份的民航次均出行距离

均在 1400 公里以上。

图 2-15 为 2019 年五省铁路与民航人均出行次数对比图。

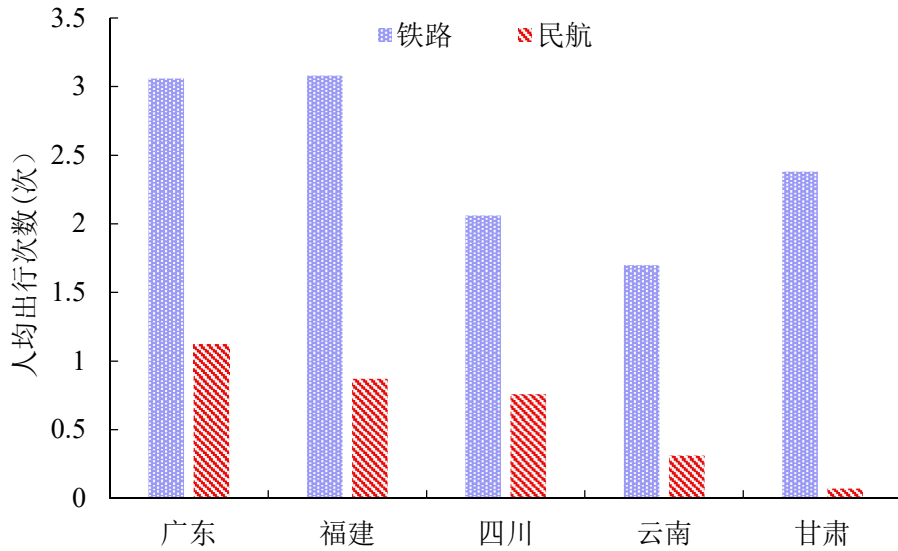


图 2-15 2019 年五省铁路与民航人均出行次数

可以看出各地区铁路人均出行次数均远高于民航，2019 年甘肃省铁路人均出行次数分别是民航人均出行次数的 31.7 倍，甘肃省地广人稀，经济条件较差，民航需求量及需求潜力不足。广东省和四川省铁路与民航人均出行次数比值最低，均为 2.7 倍，广东省人口基数大、客运需求量大、铁路和民航设施建设相对完善，铁路与民航的人均出行次数最高。

图 2-16 为 2019 年各省铁路的次均出行距离对比图。可以看出，民航次均出行距离远大于铁路。结合图 2-15 铁路出行频次高的特征，可以发现铁路主要服务于短距离高频次出行，民航主要服务于长距离低频次出行。对比 2019 年铁路与民航的次均出行距离，五个省份的铁路次均出行距离均在 800 公里以内，民航次均出行距离在 1200 公里以上，其中广东省民航次均出行距离约为铁路的 8-10 倍，云南省民航次均出行距离约为铁路的 5-6 倍。

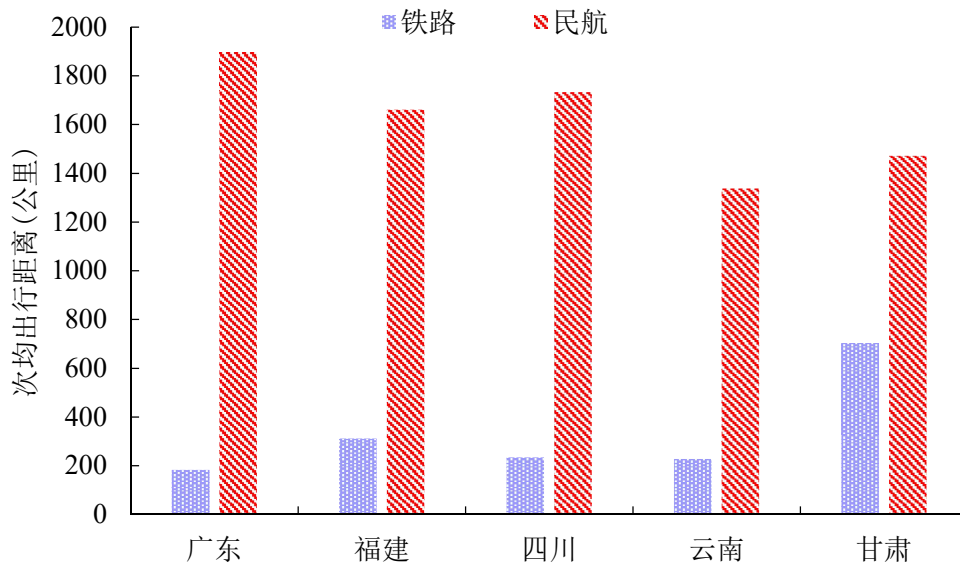


图 2-16 2019 年五省铁路与民航次均出行距离

2.3 本章小结

本章结合客运量、客运周转量、人均出行次数和平均运距等指标分析了我国高速铁路及民航的客运市场需求历史趋势。并以东、西部五个典型省份为研究对象，对比高铁和民航客运市场需求的演变规律，分析差异形成的原因并总结区域客运需求特征。主要研究结论如下：

(1) 近年来，随着高铁与民航基础设施完善、网络逐步加密，高铁与民航的客运量及周转量及占比都逐年稳步增长，其中高铁的增长速度更快。2021 年，高铁与民航两种运输方式承担了 28.5% 的客运总量及 63.7% 的客运周转量，已成为客运交通的重要支柱。分区域来看，东部地区案例省份铁路与民航客运量占比均大于西部地区，且东部地区两运输方式周转量占比之和大于西部地区。东部发达地区的客运周转任务主要由铁路与民航两种运输方式承担，而西部需要公路运输来弥补这一差距。

(2) 从高速铁路、民航客运市场需求历史来看，2008-2019 年高铁客运人均出行次数逐年增加，同期高铁吸引了部分民航短距离客流，民航平均运距呈上升趋势。2012 年起，高铁客运人均出行次数超过民航，并以 15%-45% 的年增速增

长。2011-2019 年民航客运人均出行次数维持年增长率 10%的水平。高速铁路自 2008 年开通运营以来，客运平均运距不断增大，2013 年增至 404.3 公里后逐年缓慢下降，至 2021 年降至 315.5 公里。高铁开通运营后，民航的部分中短途出行客流流向高铁，民航市场收窄，2010-2019 年平均运距由 1508.8 公里快速上升至 1773.7 公里。可以看出，高铁主要服务中短途旅客出行，民航在长距离运输中具有较强竞争力，互补关系日益显著。

(3) 以东、西部五个典型省份作为研究对象，2019 年东部地区铁路及民航的人均出行次数显著高于西部地区，东部地区铁路人均出行次数均超过 3 次，西部地区三省的铁路人均出行次数在[1.7,2.4]次之间；民航的人均出行次数除广东省外均低于 1 次。各地区铁路人均出行次数均远高于民航，甘肃省铁路人均出行次数是民航人均出行次数的 31.7 倍。对比 2019 年各省铁路与民航客运次均出行距离，铁路次均出行距离大体呈现西部区域大于东部区域的规律，民航次均出行距离相差不大；民航次均出行距离远高于铁路，在中长距离运输中竞争力较强。

3 高速铁路与民航供给水平与服务水平分析

本章主要分析东、西部地区高速铁路与民航服务水平差异，总结归纳高速铁路与民航发展规划。首先统计了不同地区高铁线路里程和机场数量，计算得到区域客运设施人均及面积均建设水平指标，研究我国不同区域高速铁路与民航设施分布特征，在此基础上，深入分析高铁与机场站点服务供给水平、辐射范围及等时圈覆盖范围；其次选取典型省份高铁线路及机场测算设施利用率。结合高铁站与机场接续交通效率和旅客选择高铁与民航出行时的接续便捷性感受，讨论高铁与民航全出行链平均速度；最后重点分析东西部高铁与民航发展趋势。

3.1 高速铁路与民航设施水平与供给水平分析

本节从高铁与民航设施分布特征、服务供给水平、枢纽辐射范围与枢纽等时圈覆盖范围等角度分析不同地区的高速铁路与民航设施水平与供给水平差异。

3.1.1 高速铁路与民航设施分布特征

从我国高铁与民航整体基础设施建设水平、各区域人口别与面积别机场及高铁线网建设水平角度，分析我国高铁与民航设施的分布特征，再以东部地区广东省、西部地区甘肃省不同城市间的人口别、面积别高铁与民航服务密度为指标对比东西部高速铁路与民航设施分布特征及服务水平的差异。

(1) 高速铁路与民航设施分布特征

我国可划分为东北、华北、华东、华中、华南、西南及西北七大地理分区。本节分别统计了七大区域的高铁线路里程和机场数量，结合区域面积及人口数，计算各区域高铁与民航人口别及面积别设施水平。表 3-1 列出了各区域的土地面积、人口数、高铁线网里程及民用航空机场数。可以看出，我国高铁线路东密西疏的分布特征比较明显，华东、华中等人口密度较大的地区，由于居民出行需求旺盛，高铁线网较为发达。西北地区人口密度较小，若大规模建设高铁线网将面临运营收益差的情况，故高铁线网规模相对较小。

表 3-1 2022 年我国七大分区的土地面积、人口、高铁线网里程、机场数

区域 ^[1]	面积 ^[2] (万 km ²)	人口 ^[3] (万人)	高铁线路里程 ^[4] (km)	机场数 ^[5] (个)
东北地区	80.84	9729	4551	27
华北地区	155.68	16890	4242	35
华东地区	80.80	42521	12943	47
华中地区	56.47	22335	6428	21
华南地区	45.27	18741	5001	21
西南地区	236.72	20492	5917	54
西北地区	308.01	10352	4028	49
全国	963.79	141060	43110	254

数据来源:

[1] 行政区划数据来源: 中国统计年鉴(为便于统计, 将内蒙古所有地区数据列入华北地区)。

[2] 各区域土地面积来源: 根据各省及直辖市统计年鉴 2022 统计汇总求得。

[3] 各区域人口来源: 根据中国统计年鉴 2022 统计汇总求得。

[4] 各区域高铁里程来源: 根据铁路建设规划公众号: 2022 年 12 月底全国各省市高铁里程清单, 统计汇总求得。

[5] 各区域机场个数来源: 根据中国民用航空局 2022 年 11 月数据统计汇总求得。

<http://www.caac.gov.cn/GYMH/MHGK/MYJC/>

从民航机场的建设分布状况来看, 我国西南、西北等地区由于区域面积较大, 地形相对复杂, 为满足偏远地区旅客出行需求, 机场数量较多。华中地区位于我国中部, 距离东北地区、东南沿海、西部地区的距离较近, 对民航长距离运输服务的需求相对较低, 因此机场数较少。

基于表 3-1 计算各区域人口别、面积别的高铁与民航基础设施分布密度, 其中各区域人口别/面积别高铁线网里程的计算方法为区域高铁线网总里程与区域总人口数/区域总面积的比值, 各区域人口别/面积别机场数量的计算方法为区域机场总数与区域总人口数/区域总面积的比值。该指标能够直观体现我国不同地区高铁与民航基础设施建设与服务水平的差异, 计算结果如表 3-2 所示。总体来看, 我国东北、华东、华南等中东部地区的高铁与民航基础设施建设水平较高, 但因地区人口密度较大, 人均指标不高。西北、西南等西部地区高铁与民航基础设施建设较为稀疏, 但地广人稀的地理特征使其人均指标与全国平均水平接近。

表 3-2 2022 年我国七大区域人口别、面积别的高铁与民航基础设施分布密度

区域	人口别高铁线网密度(km/百万人)	面积别高铁线网密度(km/万 km ²)	人口别机场密度(个/百万人)	面积别机场密度(个/万 km ²)
东北地区	46.78	56.30	0.28	0.33
华北地区	25.12	27.25	0.21	0.22
华东地区	30.44	160.19	0.11	0.58
华中地区	28.78	113.83	0.09	0.37
华南地区	26.68	110.47	0.11	0.46
西南地区	28.87	25.00	0.26	0.23
西北地区	38.91	13.08	0.47	0.16
全国	30.56	44.73	0.18	0.26

具体来看：东北地区的人口别高铁线网密度最高，达到了 46.78km/百万人，远超出全国平均水平 30.56km/百万人，服务水平较高。西北地区高铁线网的人均服务水平仅次于东北地区，处于较高水平，主要是因为该地区人口密度较低。华东、华中地区的高铁建设里程远大于东北、西北地区，但由于地区常住人口规模大，其中华东常住人口超过 4.2 亿人，服务群体规模庞大，导致高铁线网的人均服务水平较低。华北、华南等地区同样存在人口密度过大而使高铁线网密度低于全国平均水平的情况，其中华北地区的人口别高铁线网密度仅为 25.12km/百万人。对比不同地区人口别机场密度可发现，西北、西南地区由于其地广人稀的特征，机场数量较多，人口别机场密度较高，一定程度弥补了高铁建设水平不足的问题。华东地区机场人均服务水平较低是由于其服务群体规模较大，华中、华南地区则是因为地理位置的特殊性，长距离的出行需求相对较少使得机场建设数量较少。

对比不同区域面积别的高铁与民航基础设施分布情况可以发现：西北、西南地区的面积别高铁线网密度较低，分别为 13.08、25km/万 km²，低于全国平均水平 44.73km/万 km²。分析原因是该区域高铁运营里程相对较短，但土地面积较大。华东、华中和华南地区由于高铁运营里程长且土地面积较小，其面积别高铁线网密度达到了全国平均水平的 2.5-3.6 倍。从机场建设水平指标来看，华东地区的面积别的机场密度最高，达到了 0.58 个/万 km²。分析原因是该地区面积较小，经济发达，机场数量较多。西北、西南地区的机场数量大于华东地区，但由于其土地辽阔，面积别机场密度仍然低于全国平均水平。

(2) 高铁与民航站点覆盖率分析

表 3-3、表 3-4 为东西部地区省份高铁与机场覆盖率情况，覆盖率指典型省份有高铁站、机场的地级市数量与地级市总数的比值。

表 3-3 东西部地区典型省份高铁覆盖率

	东部		西部	
高铁覆盖率	广东	100.00%	贵州	100.00%
	江苏	100.00%	云南	56.25%
	浙江	100.00%	四川	80.95%
	福建	88.89%	新疆	20.00%
	山东	100.00%	甘肃	58.33%

表 3-4 东西部地区典型省份机场覆盖率

	东部		西部	
机场覆盖率	广东	42.86%	贵州	100.00%
	江苏	69.23%	云南	68.75%
	浙江	63.64%	四川	57.14%
	福建	55.56%	新疆	86.67%
	山东	62.50%	甘肃	75.00%

可以看出，东部地区基本实现了高铁全覆盖，西部地区差距较大。西部地区部分省机场覆盖率高高于高铁，部分地区依赖民航出行，一定程度上弥补了高铁建设水平不足问题。其中，东部地区省份高铁站覆盖率均超过 80%，西部地区部分省高铁站覆盖率低于 60%，新疆高铁覆盖率最低，为 20%，原因在于新疆市地广人稀，而高铁建设成本高，效益小；其次，新疆机场覆盖率高达 86.67%，航空运输将成为新疆快速运输的主力，与民航运输相比，高铁竞争优势较小。

东部地区机场覆盖率均低于 70%，西部地区机场覆盖率基本高于 70%，其中贵州省实现了机场全覆盖，贵州省地形复杂，陆路交通不便，飞机是最主要交通工具之一；其次，贵州省旅游资源丰富，且旅游业发展水平高，旅游业对贵州民航业的发展起到了巨大的推动作用。

综上，我国东部地区高铁的服务水平相对民航较高，竞争力优于民航；西部地区则相反，由于地理条件、发展重心等差异，民航的服务水平优于高铁。

3.1.2 高速铁路与民航枢纽的服务供给水平

以高速铁路与民航在东、西部地区省份内不同城市间、省份间的服务水平差异来分析东西部高铁与民航设施分布特征。

(1) 东西部地区省份内不同城市间高铁与民航服务水平差异分析

对比广东省、甘肃省不同城市间的人口别、面积别高铁与民航服务密度，分析高铁与民航在东西部省份内不同城市之间的服务水平差异。

图 3-1、图 3-2 分别是广东省不同城市之间的人口别、面积别高铁与民航服务密度对比图。通过图 3-1、图 3-2 可看出，广州市的人口别、面积别的高铁与机场服务密度高于大部分地方城市。其中人口别高铁服务密度高于广东省其他城市。因其常住人口较多，接近珠海市的 7.6 倍，揭阳市的 3.3 倍，导致在航班数相差不大的情况下，人口别机场服务密度显著低于珠海市，略低于揭阳市。广州市面积别的高铁服务密度显著低于深圳市；面积别的机场服务密度显著低于珠海市与深圳市，这是由于广州市面积远大于深圳市与珠海市而导致的。

广州、深圳、佛山市高铁服务密度高于机场服务密度，其中广州市人口别、面积别的机场与高铁服务密度差距相对较小，高铁服务水平略优于民航；深圳市人口别的高铁服务密度略高于机场的服务密度，从面积别来看深圳市的高铁服务密度显著高于机场，一定程度上反映了深圳市高铁服务水平优于民航。

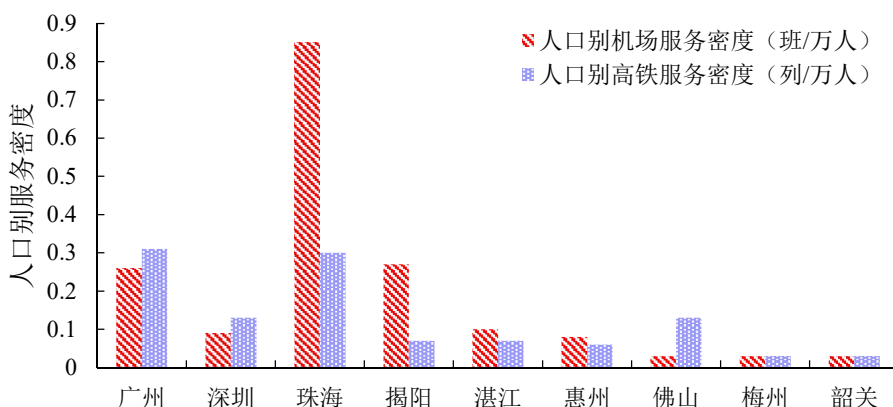


图 3-1 广东省不同城市人口别服务密度

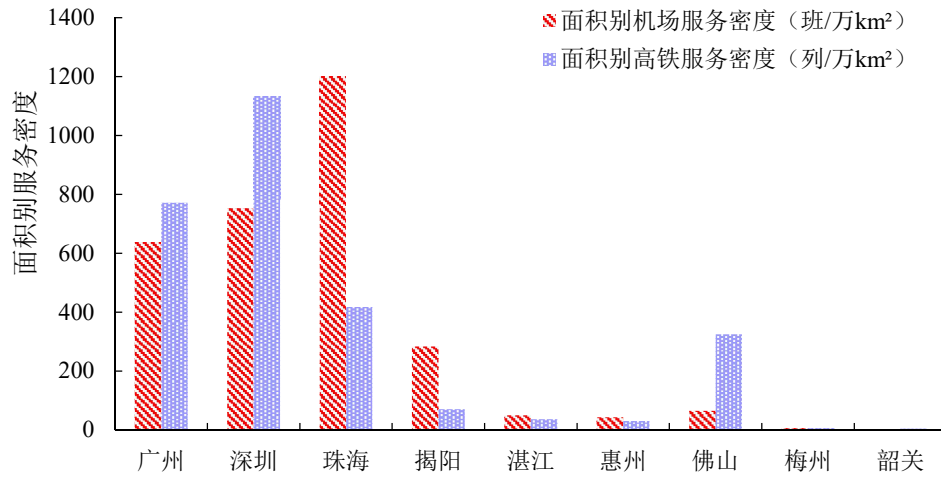


图 3-2 广东省不同城市面积别服务密度

佛山市人口别、面积别的机场与高铁服务密度差距相对较大，该市高铁服务水平优于民航。珠海市、揭阳市机场服务密度显著高于高铁，民航服务水平优于高铁。湛江、惠州、梅州、韶关市机场与高铁服务密度差距相对较小，这些城市高铁与民航服务水平相对均衡。

图 3-3、图 3-4 分别是甘肃省不同城市之间的人口别、面积别高铁与民航服务密度对比图。通过图 3-3、图 3-4 可看出，兰州市的人口别高铁与机场服务密度高于大部分地方城市，面积别的高铁与机场服务密度均高于地方城市。兰州市常住人口接近嘉峪关市的 14 倍，中川机场航班数接近嘉峪关机场的 11.6 倍，由此导致兰州市人口别的机场密度仅次于嘉峪关。

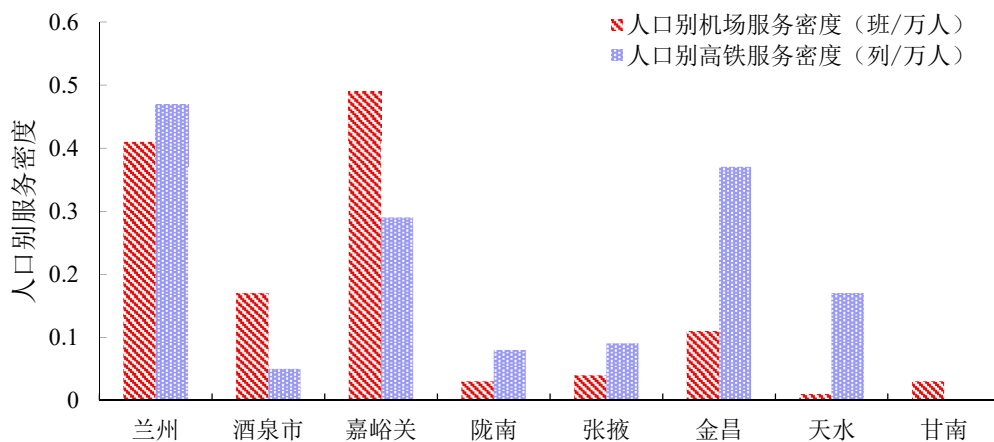


图 3-3 甘肃省不同人口别服务密度

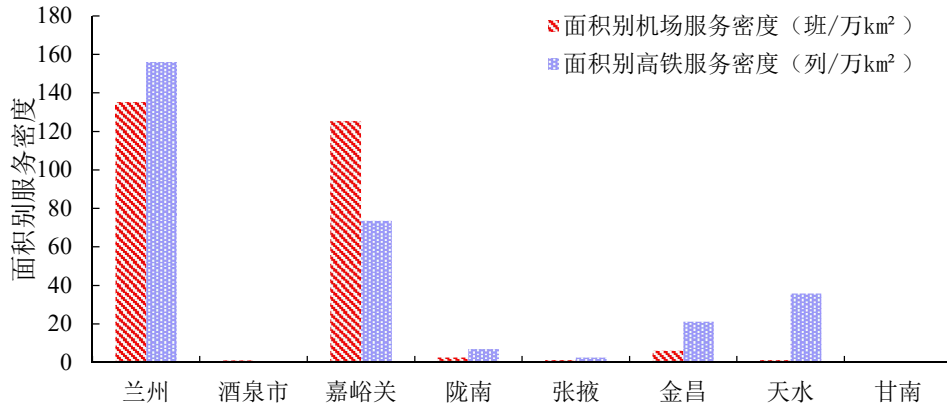


图 3-4 甘肃省不同城市面积别服务密度

甘肃省位于我国西北部，兰州、嘉峪关人口密度相对甘肃省其他地方城市高，机场与高铁服务密度显著高于其他地方城市。兰州、陇南、张掖、金昌、天水的高铁服务密度高于机场，其中兰州、陇南人口别、面积别的机场与高铁服务密度差距相对较小；金昌、天水人口别、面积别的高铁服务密度显著高于机场，说明金昌、天水市高铁服务水平优于民航。酒泉、嘉峪关、甘南市机场服务密度显著高于高铁，这些城市地广人稀，高铁覆盖较小，主要以机场为主。

对比广州市、兰州市人口别、面积别高铁与民航服务密度可得，广州市高铁与民航服务水平高于兰州市。广州市人口别高铁与民航服务密度分别为 0.26 列/万人、0.31 班/万人，均低于兰州市，但 2021 年末广州市常住人口 1881.06 万人，约为兰州市的 4 倍。广州市面积别高铁与民航密度远高于兰州市，一是因为广州市面积为 7434.4 平方千米，约为兰州市面积的 1/2，二是因为广州白云国际机场地理位置优越，南距广州市中心约 3km，服务水平极高。

综上，省会城市人口别高铁、机场服务密度高于大部分地方城市，结合各城市的地理位置发现，西部地区大部分地方城市与东部地区相比，地域范围较广，但人口较少，高铁覆盖范围较小，西部地区的机场服务水平普遍优于高铁。

(2) 东西部省份间的高铁与民航服务水平差异分析

统计东西部典型省份广东省及甘肃省内所有机场的出港航班数、与机场竞争的高铁站点日均发出列车数，结果如表 3-5 所示。

表 3-5 两省人口别和面积别的列车数或航班数

省份	面积(万 km ²)	人口(万人)	与机场竞争的高铁站数量 或机场数		日发出列车数或日出港 航班数
			高铁	民航	
广东	17.97	12624.00	高铁	11	1133
			民航	9	1137
甘肃	42.58	2501.02	高铁	9	316
			民航	8	231

数据来源：面积数据来源于中华人民共和国中央人民政府 (http://www.gov.cn/guoqing/2013-04/16/content_5046164.htm)。人口数据为来源于各省市统计年鉴。机场数量来源于中国民用航空局 (<http://www.caac.gov.cn/GYMH/MHGK/MYJC/>)，高铁站数量为与机场存在竞争关系的主要高铁站个数。

通过表 3-5 可发现，甘肃省日均高铁发车数量高于机场航班出港数，广东省日均高铁出发列车与机场航班出港数量接近。结合广东省与甘肃省的常住人口及面积，测算两省份的人口别、面积别高铁与民航服务密度，如图 3-5 所示。

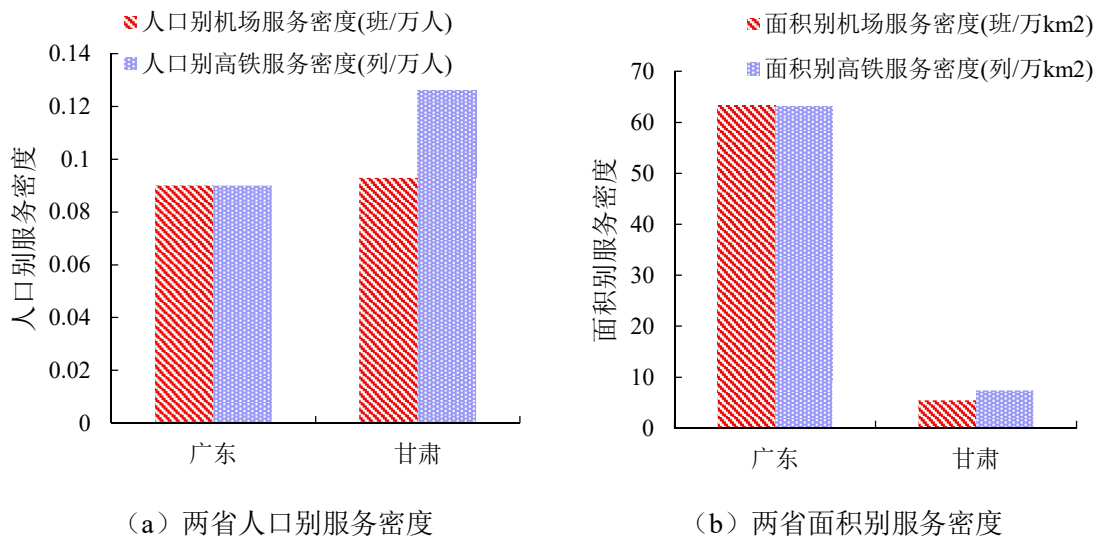


图 3-5 两省人口别、面积别服务密度

广东省人口别机场与高铁服务密度、面积别机场与高铁服务密度分别为 0.09 班/万人、0.09 列/万人、63.27 班/万 km²、63.05 列/万 km²。广东省位于我国南部沿海地区，沿海城市经济一般较为发达，而交通基础设施建设是经济发展的先决条件之一。广东省高铁网、机场航线网络规模庞大，日均高铁发车数与机场航班出港数多，高铁与民航服务密度较高；其高铁出发车次数与机场航班出港数接近，

规模庞大，因此广东省高铁与民航服务水平差距较小。

甘肃省人口别机场与高铁服务密度、面积别机场与高铁服务密度分别为 0.093 班/万人、0.126 列/万人、5.425 班/万 km²、7.41 列/万 km²。甘肃省地处西北，气候较为干旱，人口稀少，土地辽阔，导致其人口别的高铁、机场服务密度较高，但面积别的服务密度较低。

广东省面积别高铁与机场服务密度远高于甘肃省，但人口别高铁与机场服务密度略低于甘肃省，原因在于广东省人口密度大，而甘肃省地域宽广，人口密度相对较小。

总体上，高铁与民航的服务密度均与区位、经济、人口数量、土地面积等因素相关。位于东部地区的广东省经济较发达，高铁与机场日均服务频次高，即使人口较多、土地辽阔，但服务水平依然较高；西部地区日发出列车数或日出港航班数较少，但对于人口较少的省份来说，服务水平依然较高。

在上述分析的基础上，以省会城市机场及与机场存在竞争关系的高铁站为研究案例，统计其机场日均出港航班数、高铁站日均列车发车数，可具体分析不同省份之间高铁与民航服务水平的差异，表 3-6 列出了部分省会城市机场日均出港航班数及与该机场竞争的高铁站日均列车发车数。

表 3-6 部分省会机场出港航班数及与机场竞争的高铁站列车发车数比较

机场	机场日 出港航班数	与机场竞争的高铁站日发出列车数					
		沈阳站	116	沈阳北站	133	沈阳南站	56
沈阳桃仙机场	182	沈阳站	116	沈阳北站	133	沈阳南站	56
济南遥墙机场	165	济南站	117	济南西站	325	济南东站	96
郑州新郑机场	221	郑州站	91	郑州东站	514	郑州西站	25
广州白云机场	568	广州站	33	广州东站	112	广州南站	503
兰州中川机场	127	兰州站	28	兰州西站	92	---	---
昆明长水机场	437	昆明站	130	昆明南站	156	---	---

数据来源：

[1] 机场国内航线日出港航班数来源于飞常准 app（2023 年 3 月 11 日数据）。

[2] 高铁站日均发车数通过各车站 12306app 车站大屏统计（2023 年 3 月 11 日数据）。

由表 3-6 可以发现,我国中东部地区省会城市如沈阳市、济南市、郑州市,其高铁日开行列车数大于机场日出港航班数,高铁供给侧的服务水平优于民航,在竞争关系中处于优势地位。尤其是我国的铁路枢纽中心郑州市,仅郑州东站每日开行的列车数达到了 514 列,约为郑州新郑机场日航班出港数的 2.2 倍。广州市经济发达,人口密集,居民的出行需求旺盛,其高铁与民航的服务效率均处于较高水平。广州白云机场中国三大门户复合枢纽机场之一,2020-2022 年连续三年旅客吞吐量为全国第一,具有更强的出行吸引力,其机场日出港航班数达到了 568 班,广州站、广州东站及广州南站日列车开行数之和为 648 列,高铁与民航服务水平相当。西部地区的民航机场服务水平明显优于高铁,这是由其地广人稀的地理特性决定的,如兰州市中川机场和昆明市长水机场的日均航班数均高于与之有竞争关系高铁站的列车开行数。

3.1.3 高速铁路与民航枢纽的辐射范围

高铁与民航站点覆盖面积指以站点为圆心,给定距离为半径的圆形区域,再扣除重叠部分的面积。其与计算区域总面积之比为站点覆盖面积比率。该比率一定程度上反映出客运基础设施的辐射范围。在给定距离情况下,分别计算华东、华南、西南、西北地区高铁站 15km 与机场 50km 内覆盖面积及比率(高铁站离人口密集区域较近,且高铁站数量高于机场,故高铁站取 15km;机场位置偏远,故取 50km),如表 3-7 所示。

表 3-7 2022 年各地区高铁站 15km 与机场 50km 内覆盖面积及比率

地区	面积 ^[1] (万 km ²)	高铁站 15km 覆盖 面积(km ²) ^[2]	高铁站 15km 覆盖 面积比率	机场 50km 覆盖面积 (km ²) ^[3]	机场 50km 覆 盖面积比率	高铁站 15km 与 机场 50km 内覆 盖面积之比
华东	80.80	215397	26.7%	304149	37.6%	0.7
华南	45.27	89545	19.8%	126597	28.0%	0.7
西南	236.72	118101	5.0%	396038	16.7%	0.3
西北	308.01	53929	1.8%	363623	11.8%	0.1

数据来源:

[1] 根据百度百科得到各地区总面积;

[2] 根据“铁路建设规划”公众号 (https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MzU5ODc1NDY1NQ==&mid=2247539386&idx=1&sn=296267bdc77db266d38c830aa45b2c56&chksm=febd4e8ac9cac79c4fff606da443d21ece4be0017a9d81a5b1c1bda4842b5b70a94ffd8e0479&scene=178&cur_album_id=2449739221621211137#rd) 统计得到截至 2022 年底各地区高铁站点信息。

[3] 根据中国民航网 (<http://www.caac.gov.cn/GYMH/MHGK/MYJC/>) 得到截止 2022 年底各地区民航机场信息。

由表 3-7 可见, 华东地区高铁站 15km 与机场 50km 覆盖面积比率分别是西北地区的 14.8、3.2 倍, 东部地区高铁与民航设施水平高于西部地区, 其中民航的覆盖面积比率差异不如高铁显著。东部地区高铁站 15km 与机场 50km 内覆盖面积之比为 0.7, 而西部地区该比值为 0.1-0.3, 东、西部地区高铁与民航站点覆盖面积之比相差较大, 原因在于西部地区地域辽阔, 各城市间距离大, 建设高铁线路和高铁站总成本要高于建设机场成本, 沿途人口稀少, 建设高铁回收成本周期较长, 民航在长距离运输中占据优势。

图 3-6 至图 3-9 分别为华东、华南、西南、西北高铁站 15km 与机场 50km 内覆盖面积图。

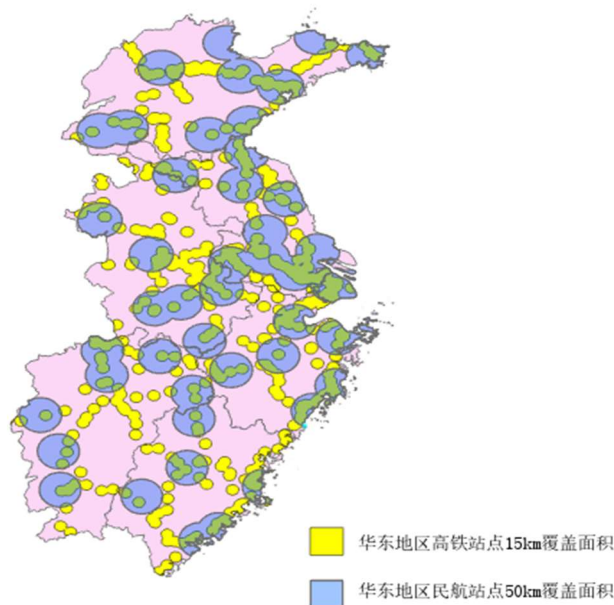


图 3-6 华东地区高铁站 15km 与机场 50km 内覆盖面积

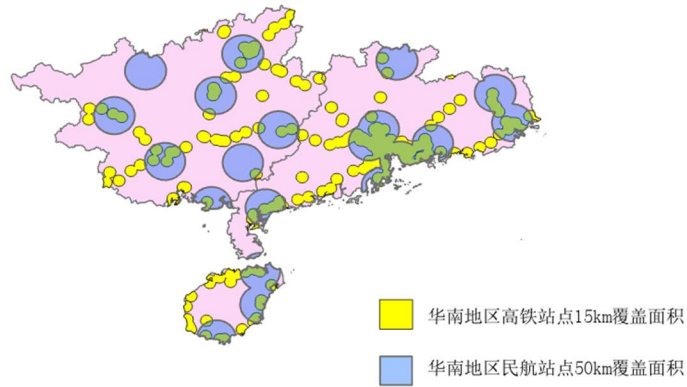


图 3-7 华南地区高铁站 15km 与机场 50km 内覆盖面积

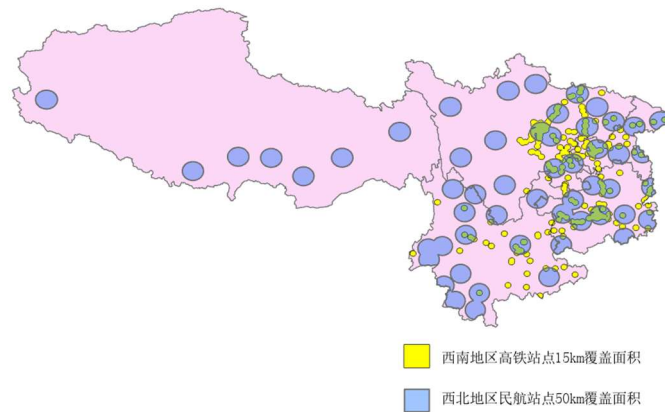


图 3-8 西南地区高铁站 15km 与机场 50km 内覆盖面积

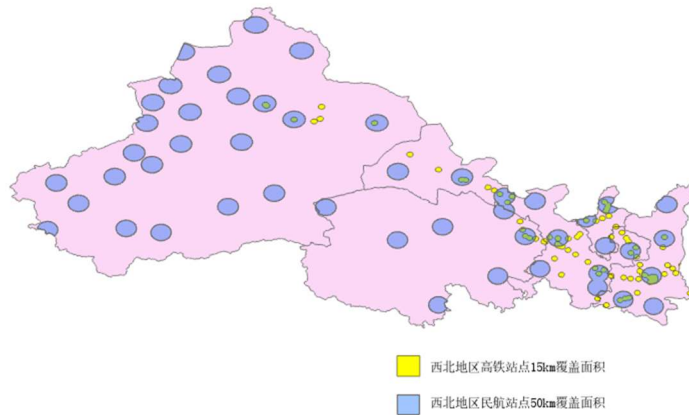


图 3-9 西北地区高铁站 15km 与机场 50km 内覆盖面积

东南地区高铁与民航空站分布较西部地区更为密集，原因在于东南地区经济相对发达，各省之间交流频繁，人们出行需求较大。西部地区民航较高铁分布更均匀，出行方式以民航为主，特别是新疆、西藏地区。分析原因为西部地区部分省份自然环境较为恶劣，地形复杂，修建高铁线路难度大，成本高。

综上所述,华东、西北地区高铁站 15km 覆盖面积比率分别为 26.7%、1.8%,东西部地区高铁设施水平差距较大,机场 50km 覆盖面积比率分别为 37.6%、11.8%,西部地区民航机场数量较多,但设施水平仍然略低于东部,东西部地区民航设施水平差距相对高铁较小。

3.1.4 高速铁路与民航枢纽等时圈覆盖范围

本节通过调研高铁与民航等时圈覆盖人口及面积指标来反映各省高铁与民航的服务水平及运行效率状况,以及中心区域与邻近区域空间联系的紧密程度。通过 Openroute Service 网站爬取得到辽宁、山东、河南、广东、甘肃以及云南六个省份的 30min、60min 等时圈覆盖人口及面积并作对比分析,并以东部地区广东省、西部地区甘肃省为研究对象分析东西部高铁与民航服务水平的差距。

(1) 高铁与民航等时圈对比分析

案例省份高铁与民航基础设施建设水平及服务面积范围,通过各省高铁与民航人均线网里程及等时圈覆盖人口、面积来表征,如表 3-8、表 3-9 所示。

表 3-8 2019-2021 年各省高铁线网里程与机场数量

省份	年份	高铁线网里程(km) ^[1]	机场个数(个) ^[2]	省份	年份	高铁线网里程(km) ^[1]	机场个数(个) ^[2]
辽宁	2019	2033	8	广东	2019	2095	8
	2020	2108	8		2020	2156	8
	2021	2195	8		2021	2458	9
山东	2019	1621	9	甘肃	2019	1215	9
	2020	2110	9		2020	1425	9
	2021	2203	10		2021	1488	9
河南	2019	1915	4	云南	2019	1074	15
	2020	1998	4		2020	1074	15
	2021	1998	4		2021	1074	15

数据来源:

[1] 根据“铁路建设规划”公众号(https://mp.weixin.qq.com/s/PgSOhYRWcnFE4PyLAfs_g)统计得到截至 2021 年底各省及直辖市高铁线网里程。

[2] 分别根据《2019 年民航行业发展统计公报》、《2020 年民航行业发展统计公报》、《2021 年民航行业发展统计公报》统计得到 2019、2020 与 2021 年各省及直辖市机场总数。

表 3-9 各省高铁与民航等时圈覆盖人口及面积

省份	交通方式	30min 等时圈		60min 等时圈	
		覆盖人口(万人)	覆盖面积(km ²)	覆盖人口(万人)	覆盖面积(km ²)
辽宁	高铁	3593.67	21895.14	8792.59	56426.65
	民航	1561.93	4932.93	3472.73	16169.84
山东	高铁	6352.94	44718.35	16701.63	131183.27
	民航	1849.02	13793.92	8103.14	64046.19
河南	高铁	5814.57	34649.57	19902.12	131758.27
	民航	878.93	4143.95	3790.15	25400.62
广东	高铁	12563.05	46405.59	17521.81	104759.72
	民航	4153.23	9791.39	10375.74	43460.67
甘肃	高铁	694.83	7261.77	1763.55	24490.29
	民航	267.97	4034.11	1071.24	17804.78
云南	高铁	1337.87	9553.63	3501.32	36664.27
	民航	434.91	4369.05	1597.87	18346.03

数据来源：Open route Service 网站。

由表 3-9 可知，各省的高铁 30min、60min 等时圈覆盖人口及面积均远高于民航，原因在于高铁站地理位置优越，一般高铁站离市中心较近，且接驳方式较多，如公交车、地铁及出租车，发车频率较高，可达性较高；而机场一般选择离城市中心较远的地方，接驳方式较少，如机场大巴，发车频率低，可达性较低。此外大多省份高铁车站数量大于民航机场数量，高铁服务覆盖范围较广。

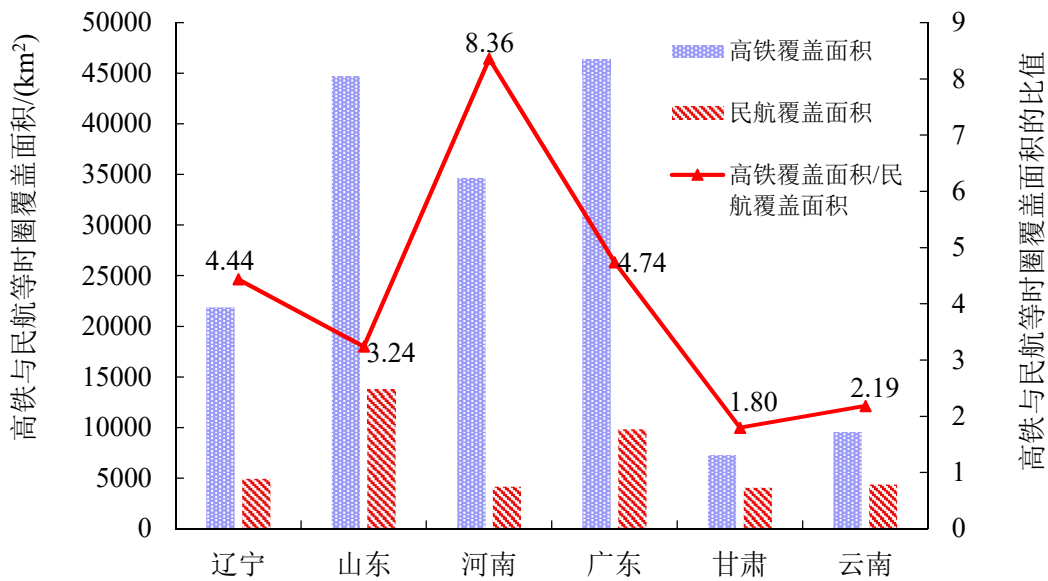


图 3-10 各省高铁与民航 30min 等时圈覆盖面积

图 3-10 中的折线代表各省高铁与民航 30min 等时圈覆盖面积的比值，直观反映了两者之间的差距，可以看出，各省高铁 30min 等时圈的覆盖面积约为民航的 1.8-8.4 倍，这主要是因为不同地区高铁和民航的基础设施建设水平不同。由表 3-8 可知，河南省高铁线网密度即将突破 2000km，但是仅有 4 个机场，相比之下民航所能覆盖的服务面积较小，不到高铁的八分之一，高铁相较于民航具有绝对优势。东部区域省份如辽宁、山东及广东省高铁线网密度与河南省相当，但机场数量是河南省的两倍左右，因此高铁与民航等时圈覆盖面积比值为 3.2-4.7 倍。西部省份如甘肃、云南，其高铁与民航等时圈覆盖面积比值为 1.8-2.2 倍，相较于其他省份，高铁与民航的服务覆盖面积差距较小，这是因为西部地区高铁线网里程较小，同时机场较多，机场服务水平相对较高。

(2) 不同区域等时圈对比分析

基于表 3-9，计算东、西部典型省份（广东省、甘肃省）高铁与民航 30min 等时圈的平均覆盖面积，将广东省、甘肃省高铁与民航 30min 等时圈覆盖面积与六省平均覆盖面积的比值作为研究指标，对比东、西部高铁与民航的设施覆盖面积的差异，如图 3-11 所示。

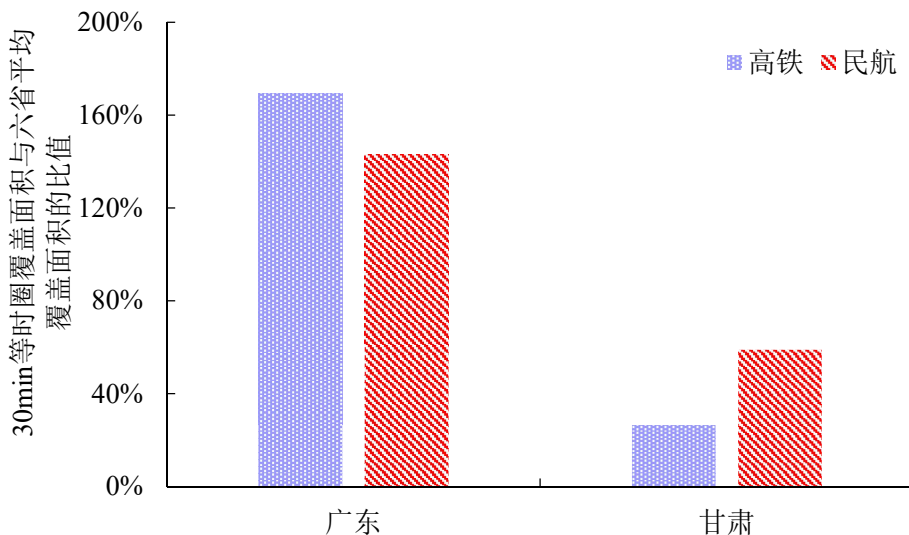


图 3-11 各省高铁、民航 30min 等时圈覆盖面积与六省平均覆盖面积的比值

可以看出，东部地区广东省高铁与民航的服务水平高于西部地区甘肃省，且广东省中心区域与邻近区域空间联系更加紧密。东部地区的广东省等时圈覆盖面

积普遍高于甘肃省，分析原因，一方面是其高铁与民航公共交通接驳水平高于西部地区；另一方面是广东省高铁站数量高于甘肃省，其高铁站点密度高于甘肃省。

高铁方面，由图 3-11 可知，广东省高铁 30min 等时圈覆盖面积为六省的平均水平的 1.7 倍，显著优于甘肃省，原因在于其高铁线网里程长，覆盖范围更广。广东省高铁发展速度较快，高铁的服务水平快速上升，2019-2021 年间高铁线网里程从 2095km 增长到 2458km，此外广东省的高铁站点区域均匀化，未来将改善粤西地区以及其它省份乘客的出行条件。甘肃省等时圈覆盖面积水平较低的原因是两省地理位置偏远，地广人稀，建设高铁成本较高，收益较低，因此高铁线路里程较短，覆盖范围较小，高铁站周边路网接驳服务水平也不高。

民航方面，广东省 30min 等时圈覆盖面积是六省平均水平的 1.4 倍，说明广东省民航服务水平较高，接驳运行效率较高。广东省主线机场较多，且大部分主线机场离市中心较近，以广东省最大的机场广州白云国际机场为例，其距离广州市中心（海珠广场）直线距离仅 28km。甘肃省 30min 等时圈覆盖面积约为六省平均水平的 60%，民航服务水平较低。分析原因为甘肃地理环境及自然环境复杂，虽然机场数量较多，但距离周边城区较远，兰州市中川机场距离市中心直线距离 69km，且路网密度低，导致接驳方式的可达性较低。

3.2 高速铁路与民航设施利用率

本节统计案例省份部分高铁日开行列车对数、机场吞吐量等数据，结合高铁线路理论通过能力及机场设计吞吐量，测算各省高铁与民航设施利用率。

3.2.1 高速铁路能力利用率

高铁设施能力利用率为高铁线路的日开行列车对数与理论线路通过能力的比值。《高速铁路设计规范》（TB 10621-2014）中规定高速铁路线路通过能力计算公式如下：

$$N = \frac{1440 - T_w}{I} - \frac{60 \times S}{v \times I} \quad (3-1)$$

式中：N 为平行运行图通过能力，对； T_w 为综合维修天窗时间或非有效利

用时间, min, 取值 360min; I 为列车追踪间隔时间, min; S 为客运区段长度, km; v 为列车运行速度, km/h。本小节统计了 2023 年案例省份部分高铁线路的列车开行对数, 并依据相关参数计算得到各理论线路通过能力及能力利用率, 如表 3-10 所示。

表 3-10 高铁线路能力利用率

区段	途经省份	日开行对数(对)	线路理论日通过能力(对)	能力利用率
京沪高铁(南京南-上海虹桥段)	江苏、上海	159	172.5	92.16%
京广高铁(北京-石家庄段)	北京、河北	155	172.0	90.03%
沪昆高铁(上海-杭州段)	上海、浙江	149	175.0	85.14%
郑西高铁	河南、陕西	99	141.5	69.98%
京哈高铁(北京-沈阳段)	北京、河北、辽宁	68	120.0	56.63%
济青高铁	山东	81	147.0	55.20%
贵广高铁(桂林-广州段)	广西、广东	68	124.0	54.82%
沪昆高铁(长沙-昆明段)	湖南、贵州、云南	55	106.0	52.00%
哈大高铁(沈阳-大连段)	辽宁	64	127.0	50.48%
宝兰客专(徐兰高速宝兰段)	陕西、甘肃	53	123.0	43.10%
贵广高铁(贵阳-桂林段)	贵州、广西	48	124.0	38.62%
南昆高铁	广西、云南	32	115.0	28.14%
银西高铁(西安北-吴忠段)	陕西、甘肃、宁夏	32	119.0	26.96%

数据来源: 列车开行对数来源于“12306”, 统计时间为 2023-02-22

我国中、东部地区的高铁线路能力利用率高, 如京广高铁、京沪高铁、沪昆高铁线路部分区段在春运返程后期的能力利用率超 85%, 繁忙区段如京沪、京广高铁线路能力利用率超 90%, 区间行车密度较大, 这与高铁线路两端站点及途经多个站点为大客流站相关。西部地区的高铁线路途经的大部分站点地理位置较为偏远, 客流量相对较低, 高铁线路能力利用率相对较低, 如宝兰客专、贵广高铁(贵阳-桂林段)、南昆高铁、银西高铁(西安北-吴忠段)的能力利用率不足 50%。

中、东部地区经济发展水平高、人口密集, 人均出行次数较高, 站点客流量相对较大, 而西部地区经济发展相对落后、地广人稀, 高铁线路通达范围有限, 高铁客流量相对较低, 由此导致了中、东部地区高铁线路能力利用率高, 西部地区的高铁线路能力利用率偏低。

3.2.2 民航设施利用率

民航设施能力利用率为各机场实际吞吐量与航站楼设计吞吐量的比值，其中设计吞吐量取已完成的新建或改扩建工程后的设计吞吐量公开数据。统计案例省份所有机场 2019-2021 年的吞吐量，并根据每个机场的设计吞吐量计算其能力利用率，如表 3-11 所示。

表 3-11 六省民航设施利用率

省份	机场	吞吐量(万人)			能力利用率		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021
辽宁	沈阳桃仙机场	2054.40	1318.15	1392.39	84.0%	53.9%	56.9%
	大连周水子国际机场	2008.00	858.71	1036.55	100.4%	42.9%	51.8%
	锦州湾国际机场	38.55	17.13	22.65	70.1%	31.2%	41.2%
	鞍山腾鳌机场	18.26	15.52	17.69	-	-	-
	丹东浪头机场	25.90	13.97	24.31	13.0%	7.0%	12.2%
	营口兰旗机场	40.65	10.97	15.15	54.2%	14.6%	20.2%
	朝阳机场	15.80	6.50	6.96	-	-	-
	长海大长山岛机场	0.33	0.23	0.02	0.9%	0.7%	0.05%
山东	济南遥墙机场	1756.05	1238.47	1361.62	146.3%	103.2%	113.5%
	青岛胶东机场	2555.63	1456.16	1603.20	73.0%	41.6%	45.8%
	烟台蓬莱机场	1005.29	579.15	595.59	100.5%	57.9%	59.6%
	临沂启阳机场	258.08	187.73	236.45	21.5%	15.6%	19.7%
	威海大水泊机场	309.08	180.74	200.52	77.3%	45.2%	50.1%
	济宁曲阜机场	148.78	41.68	100.63	24.8%	6.9%	16.8%
	东营胜利机场	88.01	45.55	68.22	88.0%	45.6%	68.2%
	潍坊南苑机场	46.86	48.67	68.01	16.2%	16.8%	23.5%
	日照山字河机场	101.79	69.65	64.27	113.1%	77.4%	71.4%
	菏泽牡丹机场	-	-	36.71	-	-	40.8%
河南	郑州新郑国际机场	2912.93	2140.67	1895.49	72.8%	53.5%	47.4%
	洛阳北郊机场	153.74	95.94	123.78	100.5%	62.7%	80.9%
	南阳姜营机场	117.79	95.56	106.78	43.2%	32.4%	37.3
	信明明港机场	72.85	73.24	65.42	145.7%	146.5%	130.8%
广东	广州白云国际机场	7337.85	4376.04	4024.97	91.7%	54.7%	50.3%
	深圳宝安国际机场	5293.19	3791.61	4024.97	79.0%	56.6%	60.1%
	珠海金湾机场	1228.30	733.56	802.02	102.4%	61.1%	66.8%
	揭阳潮汕国际机场	735.35	528.57	573.42	50.7%	36.5%	39.5%
	湛江吴川机场	298.35	223.17	250.82	71.0%	53.1%	59.7%
	惠州平潭机场	255.35	198.47	200.82	51.1%	39.7%	40.2%

	佛山沙堤机场	87.77	48.37	60.46	87.8%	48.4%	60.5%
	梅州梅县机场	67.26	42.47	44.03	169.6%	119.9%	126.3%
	韶关丹霞机场	-	-	0.94	-		0.5%
甘肃	兰州中川国际机场	1530.30	1112.66	1217.12	90.0%	65.5%	71.6%
	敦煌莫高国际机场	90.20	72.50	82.35	94.0%	75.5%	85.8%
	嘉峪关机场	58.10	55.47	62.22	145.2%	138.7%	155.5%
	陇南成县机场	28.20	22.13	29.29	117.5%	92.2%	122.0%
	张掖甘州机场	21.37	22.15	23.53	87.9%	91.2%	96.8%
	金昌金川机场	19.40	15.59	18.03	97.0%	77.9%	90.1%
	甘南夏河机场	8.61	9.08	8.85	61.5%	64.8%	63.2%
	天水麦积山机场	20.16	17.75	17.04	25.2%	22.2%	21.3%
	庆阳机场	48.88	35.95	40.04	139.7%	102.7%	114.4%
云南	昆明长水国际机场	4807.60	3298.91	3222.13	90.7%	62.2%	60.8%
	丽江三义国际机场	717.40	503.72	422.06	65.2%	45.8%	38.4%
	西双版纳嘎洒国际机场	552.43	409.19	426.80	157.8%	116.9%	121.9%
	德宏芒市机场	212.30	189.27	123.79	53.1%	47.3%	30.9%
	大理凤仪机场	177.39	131.22	142.05	98.6%	72.9%	78.9%
	保山云瑞机场	122.90	97.69	101.64	68.3%	54.3%	56.5%
	普洱思茅机场	62.10	49.92	57.79	103.5%	83.2%	96.3%
	迪庆香格里拉机场	61.79	38.34	36.98	51.5%	32.0%	30.8%
	临沧博尚机场	47.02	45.67	29.64	58.8%	57.1%	37.0%
	昭通昭阳机场	36.94	35.06	43.04	123.1%	116.9%	143.5%
	文山砚山机场	16.54	17.09	26.83	110.3%	113.9%	178.9%
	沧源佧山机场	33.72	32.94	22.43	124.9%	122.0%	83.1%
	澜沧景迈机场	45.34	45.47	41.94	181.4%	181.9%	167.8%
	宁蒗泸沽湖机场	21.59	12.19	7.44	48.0%	27.1%	16.5%
腾冲驼峰机场	136.75	77.03	66.53	59.5%	33.5%	28.9%	

数据来源：各省吞吐量来源于中国民用航空局《民航机场吞吐量排名》。

受疫情影响，2019-2021年案例省内机场吞吐量及能力利用率基本呈现下降趋势。根据民用机场实际情况，支线机场可界定为年旅客吞吐量在300万人以下，或大于300万但所处地理位置较偏远的机场。非支线机场包括干线机场和枢纽机场。2019年各省干线机场、枢纽机场、支线机场能力利用率分布如表3-12所示。

对比2019年各省干线机场、枢纽机场、支线机场的能力利用率可以看出，非支线机场的能力利用率较高，所有非支线机场的能力利用率在50%以上，60%的非支线机场的能力利用率在80%以上，三分之一的非支线机场旅客吞吐量已经

超过机场规划设计吞吐量，为更好服务旅客出行需求，部分机场开始扩建工作。

表 3-12 2019 年各省干线机场、枢纽机场、支线机场能力利用率分布

机场	省份	能力利用率低于 50% 的机场个数	能力利用率在 50%-80%间的机场个数	能力利用率高于 80% 的机场个数
非支线机场	辽宁	0	0	2
	山东	0	2	2
	河南	0	1	0
	广东	0	2	2
	甘肃	0	0	1
	云南	0	1	2
	汇总	0	6	9
支线机场	辽宁	4	2	0
	山东	4	0	2
	河南	0	1	2
	广东	1	2	2
	甘肃	1	1	6
	云南	1	5	6
	汇总	11	11	18

支线机场能力利用率不均衡，统计的支线机场中，27.5%的支线机场能力利用率低于 50%，27.5%的支线机场能力利用率在 50-80%，45%的支线机场能力利用率高于 80%，30%的支线机场旅客吞吐量已经超过规划设计吞吐量。

3.3 高速铁路与民航接续交通服务水平评估

高速铁路站点与民航机场的接续交通效率，在一定程度上决定旅客出行方式的选择。本节首先对比高铁站与机场在城市内衔接交通便捷度，其次对比分析全国范围内“高铁与民航出行选择行为”问卷调查数据中旅客对高铁与民航端点接续交通便捷性感受，进而讨论旅客“始发城市内-高速铁路/民航-终到城市内”全出行链的平均速度。

3.3.1 高速铁路与民航端点接续交通便捷度对比

旅客选择高铁或民航出行方式时，不可避免地会受到始发、终到城市内部与高铁或民航站点间交通便捷度的影响。城市内高铁站点的区位优势往往优于机场。

图 3-12 给出了我国部分城市中心地区与高铁站、机场间驾车时间情况。选取的城市包括东部地区山东省济南市、青岛市，浙江省杭州市、温州市，广东省广州市、深圳市，辽宁省沈阳市、大连市；中部地区河南省郑州市、洛阳市，山西省太原市、大同市；西部地区云南省昆明市，甘肃省兰州市。对比来看，多数城市的中心地区与高铁站之间的驾车时间短于中心地区与机场之间，但大连市、昆明市中心地区去往城市内高铁站的驾车时间略短于去往机场的驾车时间，这是因为大连市中心地区参考点与大连北站、大连周水子机场的驾车距离分别为 10.8、9.9km，昆明市中心地区参考点与昆明南站、昆明长水机场的驾车距离分别为 24.5、23.2km。

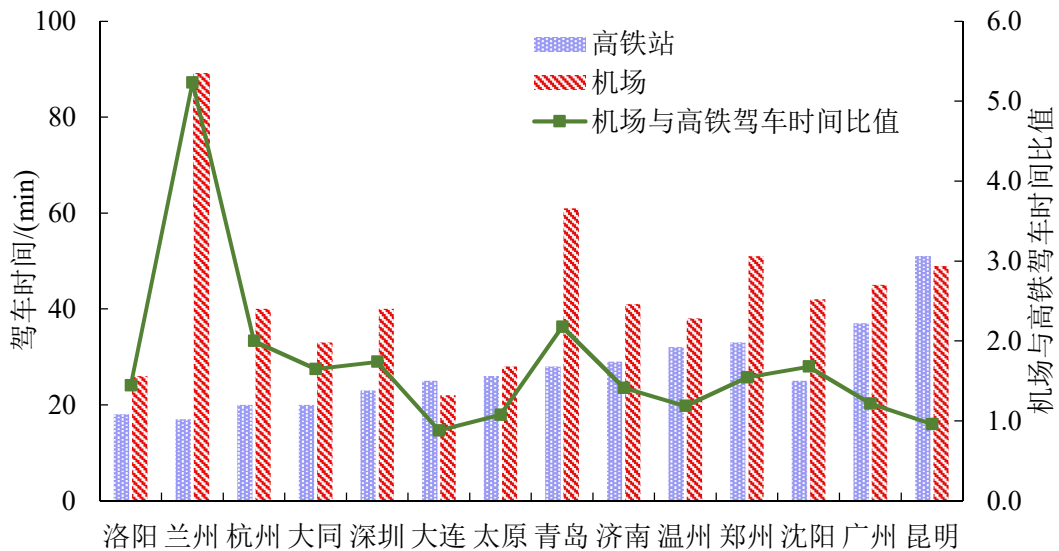


图 3-12 城市中心地区与高铁站、机场间驾车时间对比

图 3-13 进一步描述了各城市中心地区与高铁站、机场间公共交通时间情况，公共交通方式包括地面公交、轨道交通等。除大连、昆明两市，其他城市的中心地区去往机场所需的公共交通时间与去往高铁站所需的公共交通时间的比值均大于 1.00，在 1.07-4.29 的区间范围。大连、昆明两市的中心地区去往机场所需的公共交通时间与去往高铁站所需的公共交通时间的比值分别为 0.80、0.86。

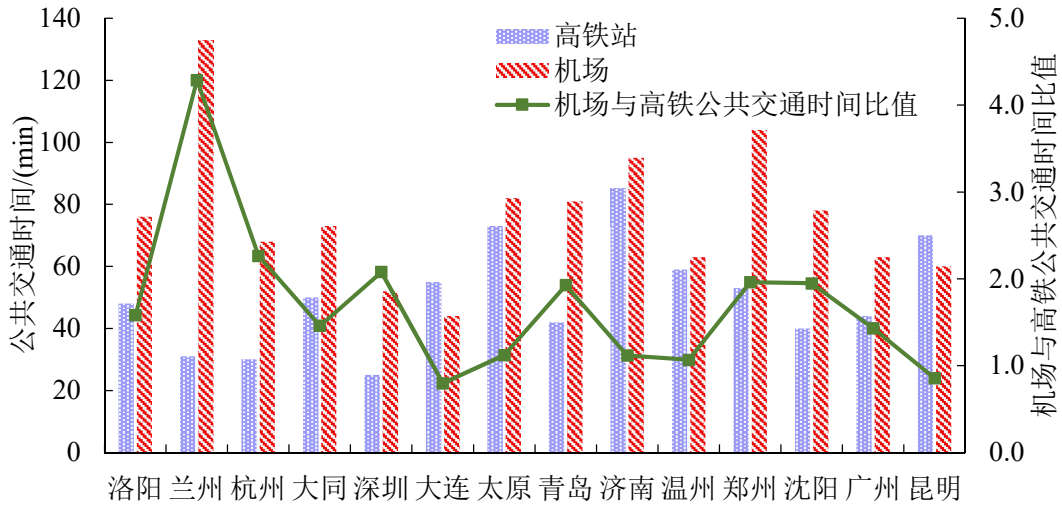


图 3-13 城市中心地区与高铁站、机场间公共交通时间对比

高铁站点的区位优势，除了体现在与城市中心地区距离较近、接续时间较短，还体现在站点周边公共交通配置水平较高。图 3-14 对比了各城市高铁站、机场衔接公共交通市内线路数量，多数城市高铁站周边地面公交及轨道交通线路是机场周边的 2 倍以上，在一定程度上说明了高铁站辐射城市内范围更广，旅客去往高铁站或从高铁站去往市内，都有较多公交线路方案可供选择。机场因距离城市中心地区较远，配置过多公共交通线路将增加公交运营成本，且公交时间过长易降低旅客出行舒适度，机场多采用机场大巴、轨道交通等接续公共交通方式，配置的线路数量较少，辐射范围小于高铁站。

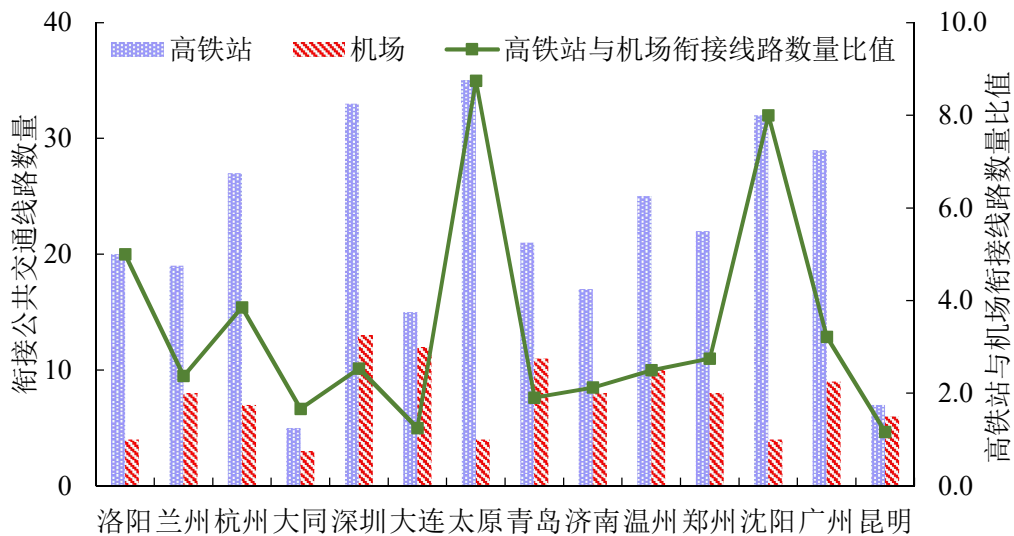


图 3-14 各城市高铁站、机场衔接公共交通市内线路数量对比

虽然截至 2021 年底我国已有 248 个民用运输机场，但相对来说，各省份中大城市的机场承接较多航线航班数，可供旅客选择的目的地、起飞时刻较多，同时吸引周边城市有出行需求的旅客。相应地，这些机场配备有机场大巴城际专线，如杭州萧山国际机场设有青田线、慈溪线、磐安线、永康线、诸暨线等，昆明长水国际机场设有文山线、宣威线、玉溪线等。机场大巴城际专线扩大了机场的辐射范围，也为大城市周边其他城市的旅客出行带来了便利。

进一步分析高铁与民航公交接续环境，调研东、西部非省会城市高铁站、机场衔接公交数量，结果如下表 3-13 所示。

表 3-13 东西部地区非省会城市高铁站、机场衔接公交数量对比

地区	站点类型	高铁站	衔接公共交通线路数量 (地面公交、地铁)
东部	高铁站	浙江宁波站	44
		山东日照西站	28
		广东茂名站	19
	机场	温州龙湾国际机场	21(含长途线路 15 条)
		徐州观音国际机场	18(含长途线路 14 条)
		青岛胶东国际机场	30(含长途线路 17 条)
西部	高铁站	四川宜宾西站	13
		四川广元站	10
		甘肃陇南站	9
	机场	绵阳南郊机场	10
		陇南成县机场	2
		广元盘龙机场	2

数据来源：高铁站衔接公共交通来源于高德地图；机场衔接公共交通来源于飞常准 APP。

可以看出，西部地区非省会城市高铁站、机场衔接交通线路数量远低于东部地区部分城市，东部高铁站如宁波站、日照西站衔接公交线路数量达到 44、28 条，而西部高铁站如宜宾西站、广元站衔接公交数量低于 15 条。局限的公交衔接线路，易导致旅客在城市内需多次换乘才能到达高铁站、机场，或使得旅客转而选择乘出租车等衔接交通方式，增加出行费用。此外，东部地区机场设有多条长途客运班线，以辐射周边县市，如温州龙湾国际机场设客运班线 15 条，连接了周边温岭市、青田县等地区，西部地区机场则缺乏长途客运班线的配置。

根据项目组开展的问卷调查中旅客高铁与民航的出行选择行为,得到我国不同常住地类型的旅客对高铁站、机场周边接驳交通便捷性的评价结果(图中未显示评价等级为一般的旅客比例,“其他”城市是指除省会城市或直辖市、地级市以外的其他城市),如图 3-15、图 3-16 所示。

可以看出,旅客对接驳交通水平的评价,基本呈现常住地行政等级越低,便捷性评价越低的规律,并且旅客普遍认为高铁周边公共交通便捷性优于民航。省会城市或直辖市旅客认为高铁站周边接驳交通方便的比例高达 81%,其他常住地类型这一比例降低至 57%,同时认为高铁站周边接驳交通不方便的旅客比例升高至 20%。

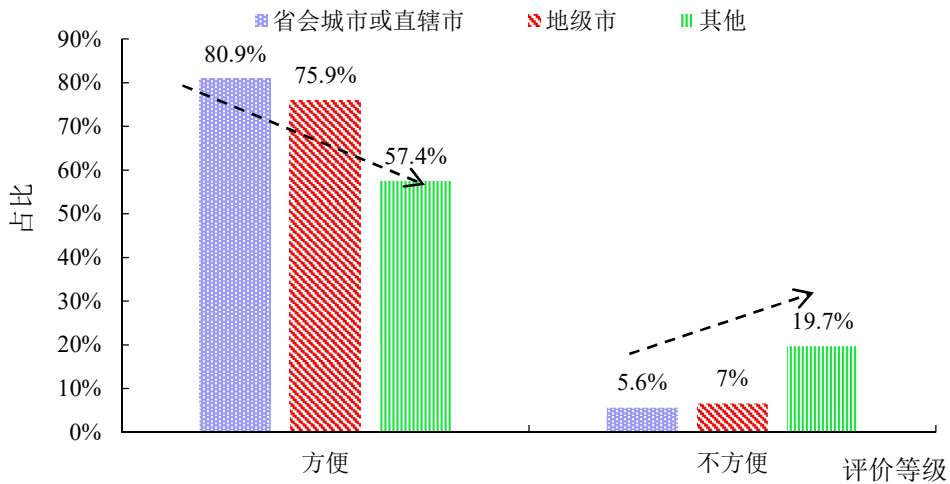


图 3-15 常住地类型不同的旅客对高铁站周边接驳交通水平的感受

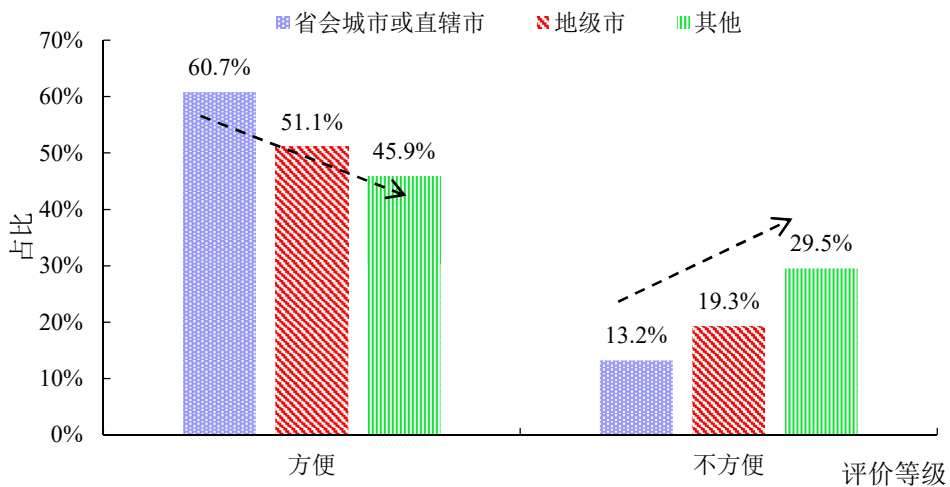


图 3-16 常住地类型不同的旅客对机场周边接驳交通水平的感受

机场方面呈现出相似规律，省会城市旅客、地级市旅客、其他常住地旅客认为机场周边接驳交通服务不方便的旅客比例分别为 13.2%、19.3%、29.5%。分析原因为行政等级较低区域的公交建设水平较低且中心城区一般距离高铁站、机场较远，这部分区域旅客出行便捷性较低，满意度较差。这类区域的公共交通基础设施有待完善，可考虑利用长途班车、农村客运班车等开展有针对性的长距离快速公交接驳服务。

3.3.2 高速铁路与民航端点接续交通问卷调查结果分析

本项目组开展了“高铁与民航出行选择行为”调查，共计收集问卷 3526 份（调查问卷见附录）。问卷重点调查了旅客对高铁与民航接续交通便捷性感受，设定场景在选择高铁与民航意愿。本小节结合被调查者前往高铁站及机场的接续交通接驳时间、站点周边接驳方便性方面的体验，分析旅客对高铁与民航的服务水平感受。

(1) 旅客对不同接续方式的选择

旅客前往高铁站与机场有三种交通方式，出租车或网约车、公交车或地铁和私家车，三种交通方式的旅客选择占比如图 3-17 所示。

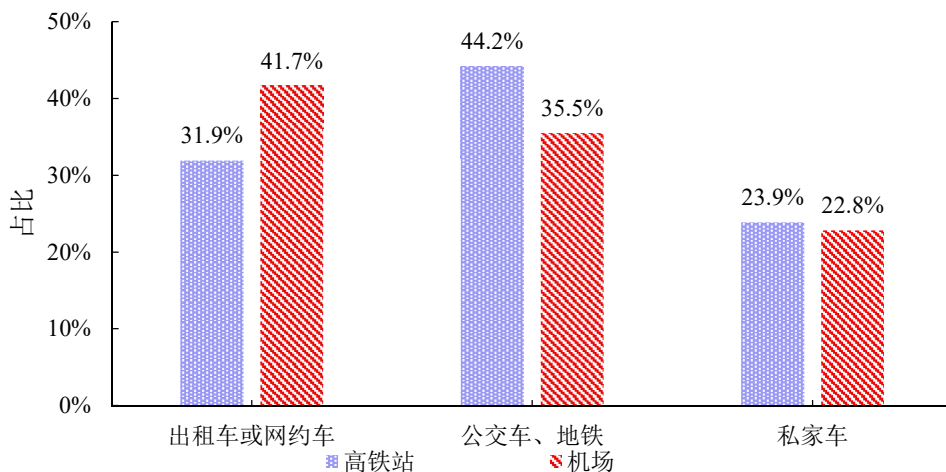


图 3-17 旅客前往高铁站与机场的交通方式对比

可以看出，约 44.2%的旅客乘坐公交车、地铁前往高铁站，比乘坐其它交通方式前往高铁站的占比高，公共交通是旅客前往高铁站的主要方式。约 41.7%的

旅客乘坐出租车或网约车前往机场，高于其它交通方式前往机场的旅客占比，出租车或网约车是旅客前往机场的主要方式。旅客交通方式选择偏好的差异与高铁站和机场的地理位置有关，前者一般靠近市中心，选择公交地铁便捷性较好且费用更低；机场距离市中心较远，虽然出租车、网约车的经济费用较高，但选择公交车的出行时间显著高于选择出租车、网约车方式，且线路较少、便捷性较差。

旅客对高铁站、机场接续公共交通的评价如图 3-18 所示。调查设置了高铁站及机场周边接驳交通水平方便、一般、不方便三个等级，被调查乘客根据自身感知及体验，分别对高铁站、机场周边接驳交通水平进行评价。

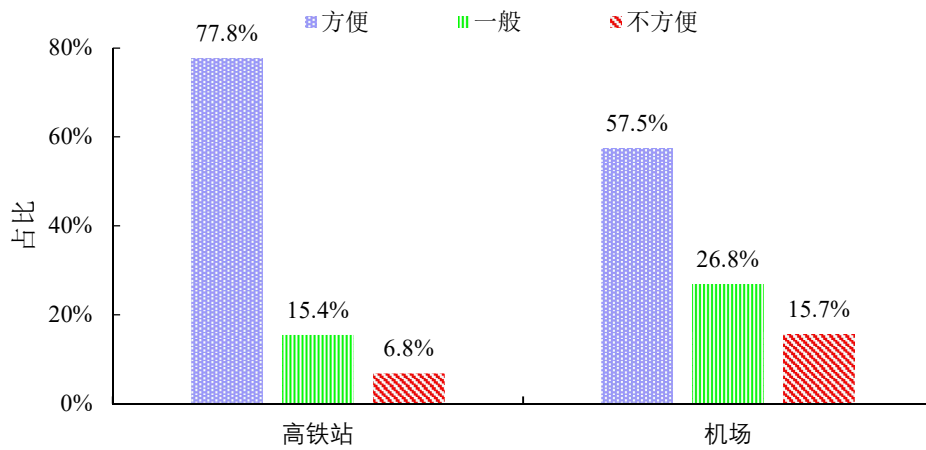


图 3-18 旅客对高铁站与机场的接驳便捷性评价

可以发现，认为高铁站周边接驳交通等级为方便的乘客占比接近 78%，远高于机场的 58%，大部分乘客认为高铁站周边的接驳交通便捷性优于机场，导致旅客选择公交地铁前往高铁站的比例大于机场。一方面，高铁周边公交线路数量大于机场，高铁站公交接续便捷性、可达性较高，如表 3-13 所示。另一方面，高铁站靠近城市中心，公交接续时间与出租车、网约车差距较小，而机场距离市中心较远，公交接续时间远大于出租车、网约车。

进一步分析乘坐公交、地铁和出租车、网约车前往高铁站、机场的出行时间分布，如图 3-19 所示。

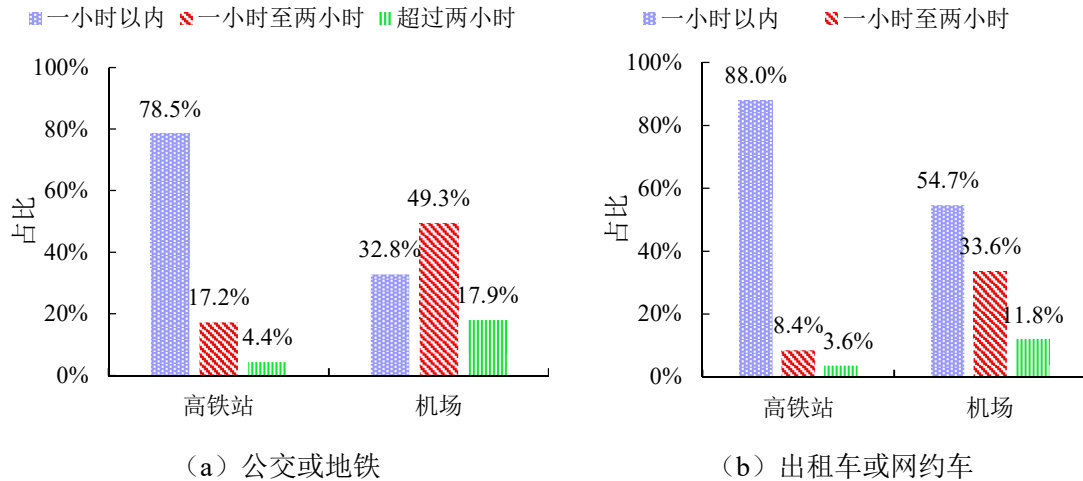


图 3-19 旅客采取不同交通方式前往高铁站或机场的接驳时长分布

可以看出，旅客乘坐公交或地铁在一小时以内到达高铁站的比例为 78.5%，远高于机场的 32.8%，乘坐公交或地铁前往机场的接驳时间较长，导致旅客对机场周边公共交通便利性的评价等级较低。旅客乘坐出租车或网约车在一小时内到达高铁站、机场的比例分别为 88.0%、54.7%，可以发现旅客采取出租车或网约车这一方式可以明显缩短接驳时长，导致乘坐出租车或网约车前往机场的乘客比例最高。因此有必要加强机场周边公交或地铁的建设水平，改善旅客对机场周边公共交通的评价，引导旅客选择公交或地铁前往机场。

(2) 不同常住地区的旅客对高铁与民航接续水平的感受

不同地区的旅客前往高铁站与机场所选交通方式的人数占比如图 3-20 所示。为便于观察和分析，以华东地区作为东部地区的典型区域，西北地区作为西部地区的典型区域。西北地区的旅客更倾向于乘坐公共交通前往高铁站、机场，华东地区的旅客相较于西北地区的旅客更倾向于乘坐出租车或网约车前往高铁站、机场。其中，西北地区的旅客乘坐公共交通前往高铁站、机场的人数比例分别为 51.9%、44.2%，远高于华东地区（40.4%、33.6%）。西北地区的旅客乘坐出租车或网约车前往高铁站、机场的人数比例分别为 31.1%、22.8%，低于华东地区（40.4%、31.1%）。

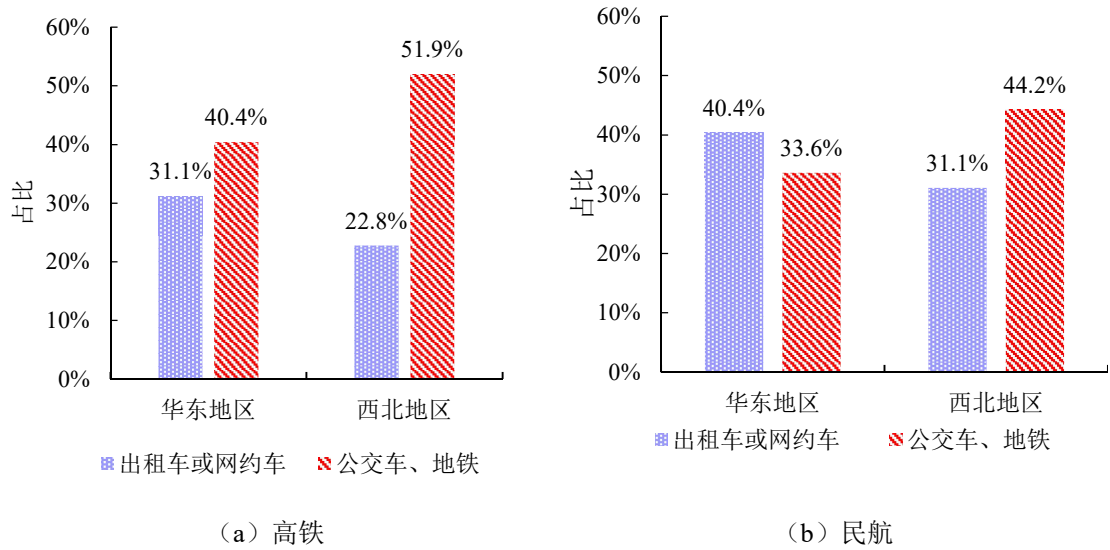


图 3-20 不同地区的旅客前往高铁站、机场所选交通方式的人数占比

华东地区选择杭州市，西北地区选择兰州市，对比两地区高铁站、机场的公交接线路数，如表 3-14 所示。

表 3-14 不同地区的城市高铁站与机场的公交接驳线路数

城市（地区）	高铁站衔接市内的公交线路数	机场衔接市内的公交线路数
杭州（华东地区）	27	7
兰州（西北地区）	19	8

数据来源：高铁站衔接公共交通来源于高德地图；机场衔接公共交通来源于飞常准 APP。

除案例城市以外，西北地区的公共交通接驳水平低于华东地区。由表 3-14 可以看出，兰州市（西北地区）高铁站与机场衔接市内的公交线路数基本少于杭州市（华东地区），但西北地区的旅客乘坐公共交通前往高铁站、机场的人数比例高于华东地区。一方面，东部地区人口密度较大，虽然公交线路数略高于西部地区，但仍不足以有效满足区域内大量的人员出行需求。另一方面，西部地区经济水平较低，公交的经济性、公益性特征使区域旅客更愿意选择公交方式出行。无论东西部地区均应加强公交服务水平的建设，东部地区应侧重公交线路规模和组织模式的拓展，推出 BRT、高铁快线、机场快线等多层级公交系统，西部地区应侧重提高公交服务质量和效率，试点定制公交模式，在西部地区旅客选择公交比例较大的背景下，为旅客带来更优质的出行服务，提高出行满意度。

1) 不同常住地区的旅客对高铁接续水平的感受

华东地区、西北地区旅客前往高铁站所需时间如图 3-21 所示。

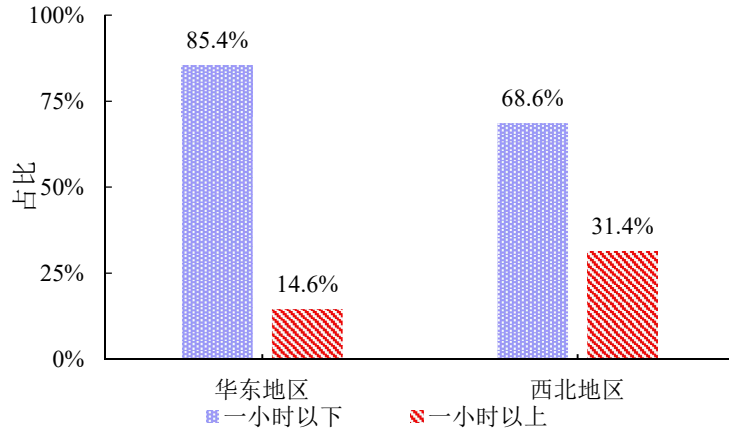


图 3-21 不同地区的旅客前往高铁站所需时间

可以看出，西北地区旅客前往高铁站所需时间在一小时以上占比为 31.4%，远高于华东地区（14.6%），说明华东地区旅客去往最近高铁站接续时间普遍较西北地区短。华东地区较西北地区高铁站点密度高，站点可接触性较高，旅客前往站点的平均接续距离较短。此外，西北地区交通接驳不方便，且公共交通的接驳水平和便捷性低于华东地区，然而，由于经济收入等因素，选择坐公交的旅客比例却高于华东地区。图 3-22 反映了华东地区、西北地区旅客乘坐公共交通前往高铁站所需时间，图 3-23 反映了华东地区、西北地区旅客对高铁站周边接续交通便捷性的评价。

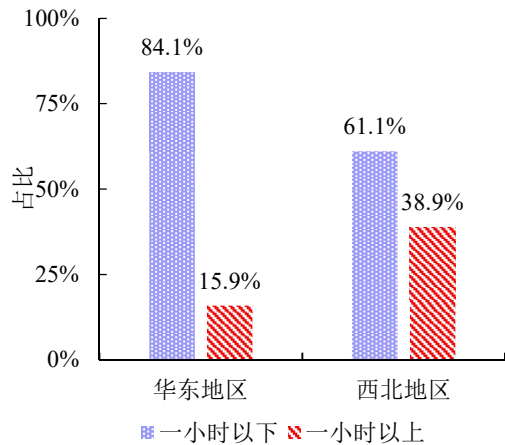


图 3-22 乘坐公共交通前往高铁站所需时间

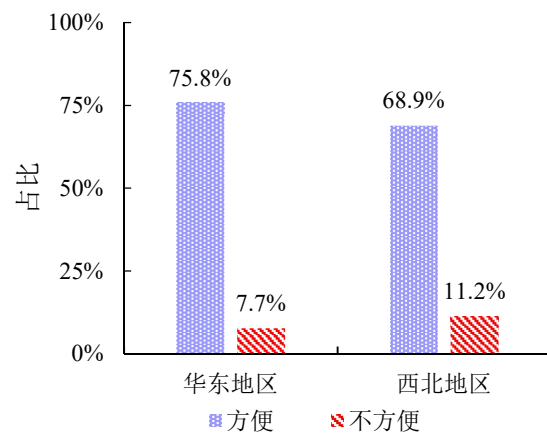


图 3-23 对高铁站周边接续交通便捷性的评价

从图 3-22 可以看出,华东地区旅客乘坐公共交通前往高铁所需时间在一小时以下占比高达 84.1%,较西北地区占比高出约 20%,华东地区高铁站周边的公共交通接驳水平和便捷程度高于西北地区。华东地区由于其公交系统线路较为丰富,运行效率较高,旅客对其方便性评价较高。图 3-23 可以看出,华东地区旅客认为高铁站周边接续交通方便的比例高于西北地区。因此,西部地区高铁站周边公交接续条件仍然存在较大的上升空间,可适当开行长距离、快速公交线路,辐射范围的同时降低提高全程平均速度。

2) 不同常住地区的旅客对民航接续水平的感受

华东地区、西北地区旅客对民航接续水平的感受如图 3-24 所示。

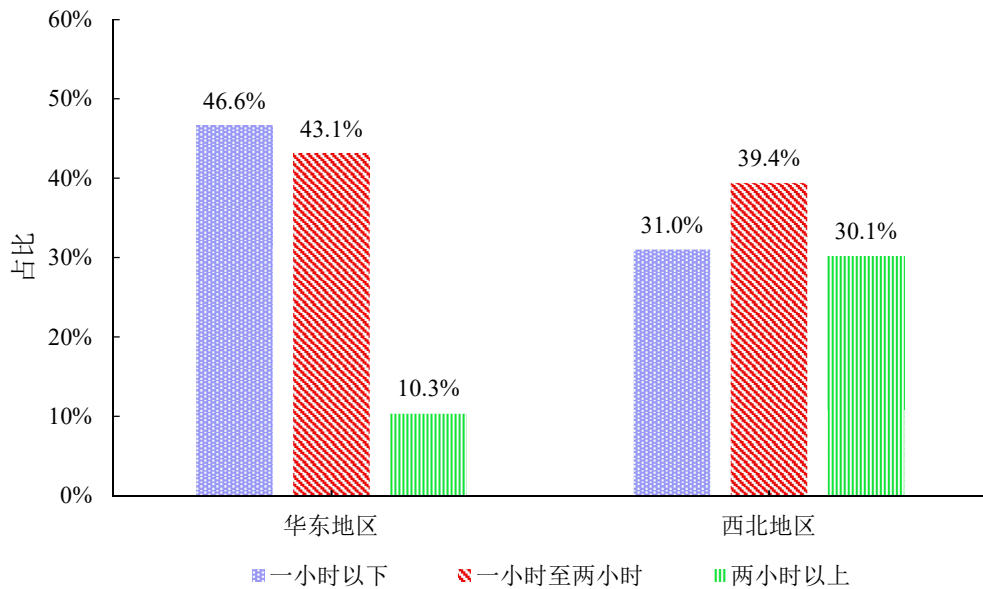


图 3-24 不同地区的旅客前往机场所需时间

可以看出,西北地区旅客前往机场所需时间在两小时以上占比为 30.1%,远高于华东地区(10.3%),说明华东地区旅客去往最近机场接续时间普遍较西北地区短。主要有三方面原因,一是地理条件上,西北地区地形复杂,机场建设普遍远离市中心,杭州萧山机场到市中心距离为 24.6km,而兰州中川机场到市中心的距离为 54.5km。二是公交条件上,华东地区公交运行效率较高,不少城市拥有地铁、BRT 等快速公交系统,而西北地区的公交系统尚不完善。三是西北地

区旅客更倾向于乘坐公共交通出行。其中，西北地区旅客选择公共交通前往机场的比例为 44.2%，华东地区为 33.6%，而出租车、网约车和私家车的接续时间一般显著短于公共交通。

图 3-25 反映了华东地区、西北地区旅客乘坐公共交通前往机场所需时间，图 3-26 反映了华东地区、西北地区旅客对机场周边接续交通便捷性的评价。

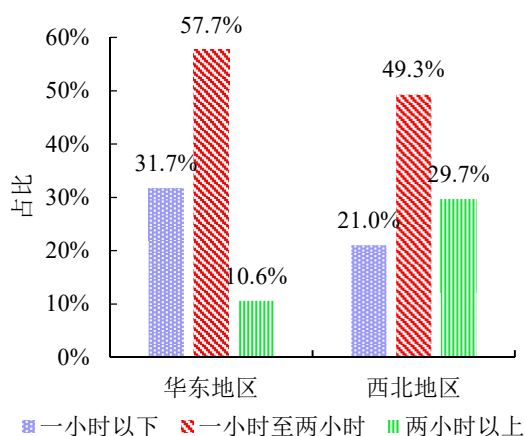


图 3-25 乘坐公共交通前往机场所需时间

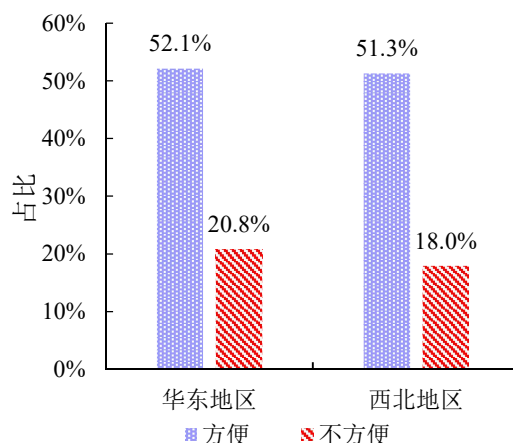


图 3-26 对机场周边接续交通便捷性的评价

由图 3-25 可以看出，华东地区机场的周边公共交通接续所需时间短于西北地区。乘坐公共交通所需时间在两小时以上的旅客，华东地区占比 10.6%，西北地区占比 29.7%。然而，图 3-26 反映出华东地区旅客对机场周边接续便捷性的评价不高，与西部地区相近，认为不方便的旅客占比为 20.8%，高于西北地区认为不方便的旅客(18.0%)。分析原因为华东地区交通发达，机场与航线数量较多，但人口别机场密度低于全国平均值，基础设施难以满足庞大的出行需求，且部分省份如安徽省、江西省的直达机场的公交线路少，机场周边的接驳水平较低。

(3) 不同常住地类型的旅客对高铁与民航接续水平的感受

常住地类型包括省会城市或直辖市、地级市、县级市和其他。不同常住地类型的旅客乘坐公交车、地铁和私家车前往高铁站与机场的人数占比如图 3-27、图 3-28 所示。

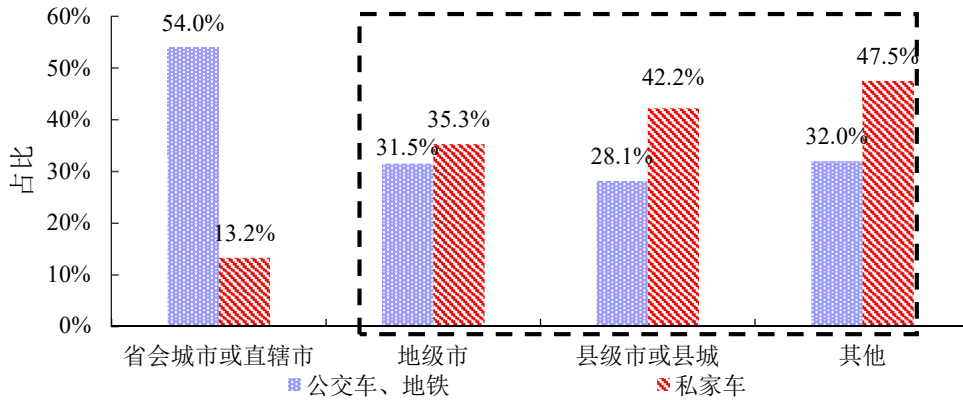


图 3-27 不同常住地类型的旅客前往高铁站所选交通方式的人数占比

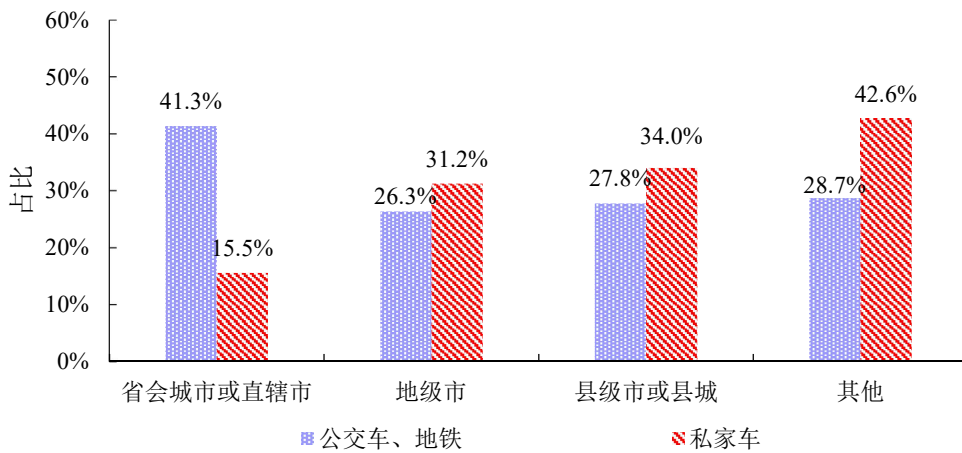


图 3-28 不同常住地类型的旅客前往机场所选交通方式的人数占比

可以看出，除省会城市或直辖市外，其余常住地类型选择公共交通前往高铁站、机场的人数占比均较低。省会城市或直辖市的旅客乘坐公共交通前往高铁站、机场的人数比例分别为 54.0%、41.3%，均远高于其余常住地类型（如地级市这一比例仅为 31.5%、26.3%），其余常住地类型的旅客乘坐私家车前往高铁站、机场的人数比例均较高，其中，县级市或县城的旅客乘坐私家车前往高铁站的人数比例均超过 40%，前往机场的人数比例均超过 30%。分析原因为省会城市以下等级的地区旅客乘坐私家车前往高铁站与机场较为方便，人口密度小，不易堵车，而公共交通系统发展程度较低、线路数量少，便捷性差，乘坐公共交通去高铁站和机场需要更长的出行时间。因此，有必要重视地级市、县级市或县城以及其他等级较低地区的高铁站、机场周边公共交通的接驳服务水平，建设更多的公交线路，覆盖更多大范围的旅客，同时提高运行效率，减少旅客的出行时间，提升旅

客的出行体验。

不同常住地类型旅客前往高铁站所需时间如图 3-29 所示。省会城市或直辖市、地级市超过 85%旅客前往高铁站所需时间不超过一小时，而其他常住地类型的旅客前往高铁站所需时间在一小时以下的人数比例低于 50%。根据国家铁路局相关报告可知，高铁通达 93%的 50 万人口以上城市。高铁站的服务范围尚难以有效覆盖县城及以下等级的地区，因此需加快建设高铁站到其他常住地类型的接驳交通，完善其他常住地类型的公共交通基础设施，以此提高其他常住地类型高铁的周边交通服务水平。

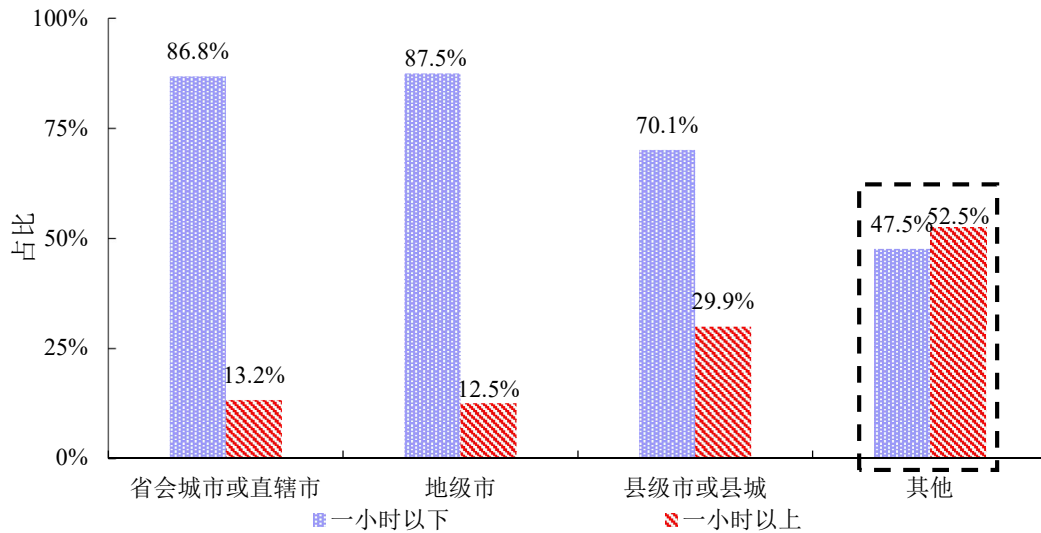


图 3-29 不同常住地类型的旅客前往高铁站所需时间

不同常住地类型的旅客前往机场所需时间如图 3-30 所示。省会城市或直辖市、地级市的旅客前往机场所需时间在一小时以内的比例分别为 52.4%、50.1%，县级市或县城 73.1%的旅客前往机场所需时间在一小时以上，其他常住地类型的旅客前往机场所需时间在两小时以上的旅客人数占比最高，为 43.5%。原因为机场大多位于经济发达、出行需求高的省会城市或直辖市、地级市，县级市或县城、其他常住地类型的旅客通常需要跨区抵达机场。受限于公交发展水平差、需要跨区长距离接续，机场对县级市或县城及以下等级地区的可接触性较差，接续时间极长，亟需发展快速长途班车等接续公交形式。

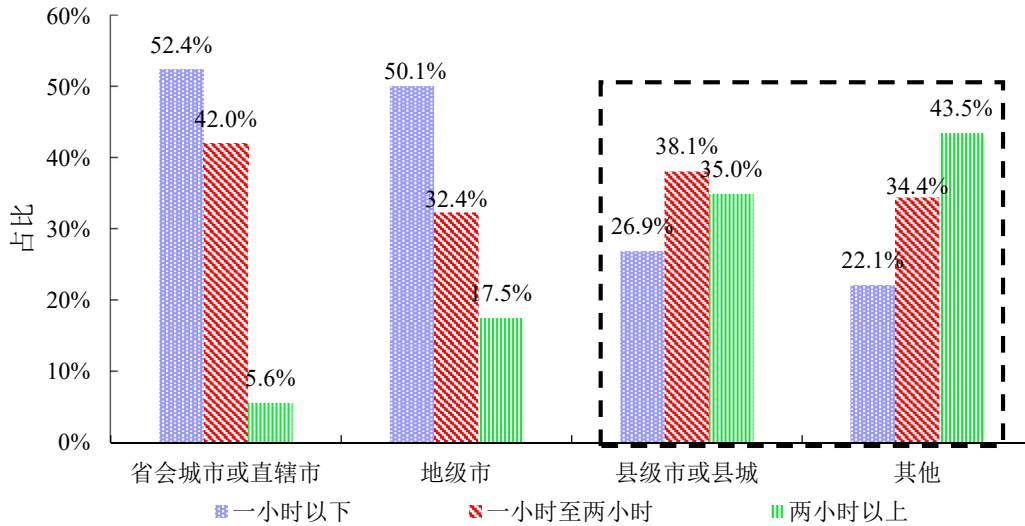


图 3-30 不同常住地类型的旅客前往机场所需时间

3.3.3 考虑全出行链的高速铁路与民航平均速度

旅客在选择高铁或民航的出行方式时，往往会综合考虑城市内接续交通所需时间及在车/机时间。虽然在大多数情景下因民航运输速度大于高铁，在相同始发、终到城市情况下，在机时间短于在车时间，但城市中心地区与高铁站之间的衔接交通便捷程度优于城市中心地区与机场之间，故有必要探讨考虑全出行链的高速铁路与民航的平均速度水平。选取广东、甘肃省份为研究对象，测算典型线路高铁、民航运输方式全出行链的出行时间，分析东西部区域高铁与民航全程平均速度的特征。

“全出行链”指乘客自居住或办公地出发，去往所在城市的高铁站或机场搭乘高铁或飞机，在高铁站或机场经过安检、候车/机等环节，搭乘若干小时高铁或飞机，抵达终到地的高铁站或机场，在高铁站内通道步行、机场内等待领取行李，而后去往乘客在终到地城市的居住或办公地。该过程示意图如图 3-31 所示。

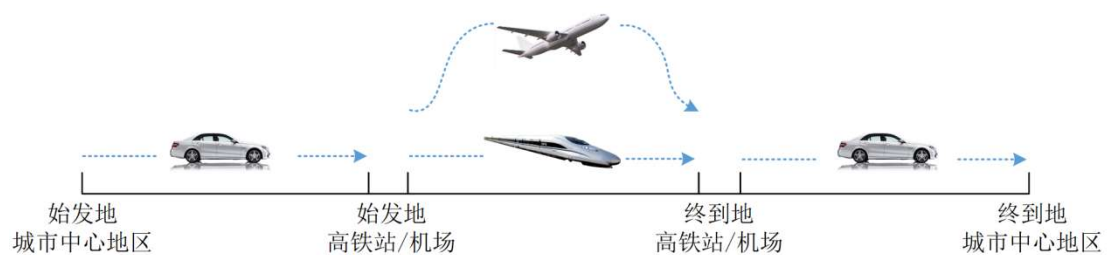


图 3-31 全出行链示意图

考虑全出行链的旅客平均速度的计算方法为全出行链的距离除以总时间。其中全出行链的距离为始发、终到地城市中心地区之间的直线距离，总时间则包括三部分，即：起讫点和对应城市内高铁站/机场的接续时间，起讫点高铁站/机场内所需时间，以及高铁或民航在车时间。其中城市内与高铁站/机场的接续交通方式统一考虑为驾车，高铁站内所需时间统一取 30min，机场内所需时间统一取 220min。机场内所需时间偏长的原因为，一是，在始发地旅客到达航站楼出发层后还需经过托运、换取登机牌、安检等流程；二是，许多机场面积大，旅客步行去往登机口或从登机口离开需花费大量时间；三是，多数旅客在下飞机后需在行李转盘处等待行李。

为清晰直观地分析不同省域高铁与民航全程平均速度的特征，将广东省、甘肃省的典型线路对应的出行距离与平均速度绘制在图中，并作曲线拟合。

图 3-32、图 3-33 给出了广东省、甘肃省典型线路对应的乘客全出行链的距离与平均速度的曲线拟合结果。高铁与民航全程平均速度都与总出行距离呈正相关关系，同时高铁全程平均速度随总出行距离增加而增长的幅度略低于民航，主要原因为出行距离逐步发展为中长距离、乃至长距离后，飞机在车时间占乘客全出行链总时间的比例增加，该过程的速度优势大于高铁行驶过程，高铁运输方式的市内端点接续便捷、站内等候时间短的优势无法显现。

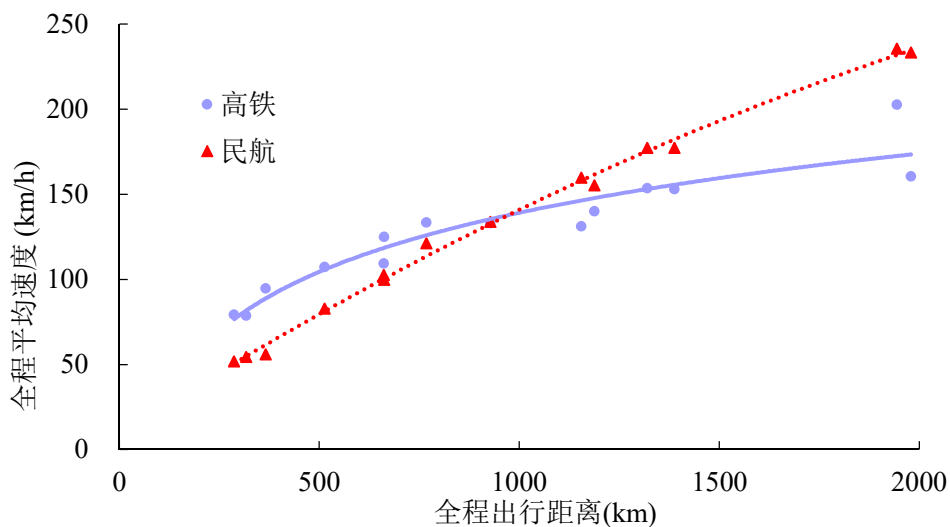


图 3-32 广东省出行距离与平均速度的关系图

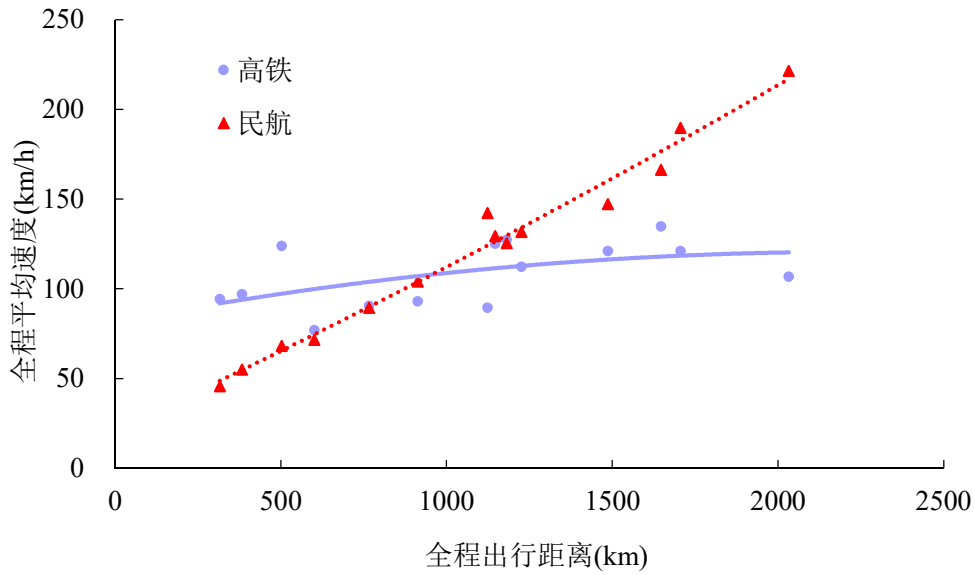


图 3-33 甘肃省出行距离与平均速度的关系图

图 3-32、图 3-33 中，广东省、甘肃省高铁与民航全程平均速度拟合曲线分别在总距离为 975km、960km 时相交，这说明了广东省高铁具有全程平均速度优势的距离区间范围为 $[0,975]$ km，甘肃省为 $[0,960]$ km，广东省高铁出行占优的距离范围更广。这是因为广东省高铁线网密度高，高铁网络的可达性较高，同时广东省高铁相关基础设施建设相较于民航更为完善，服务水平较高。

虽然途经甘肃省的高铁线路设计时速不高，基本不超过 250km/h，在这种情况下，高铁全程平均速度占优的距离区间本应较小，但由于甘肃省部分机场与城市中心地区距离较远，旅客选择民航时在城市内所需的出行时间远大于选择高铁，例如兰州市中心地区驾车去往中川机场、兰州西站分别需要 89、17 分钟，民航全程平均速度因此下降。

综合来看，位于我国东、西部地区的省份高铁相较于民航的优势距离区间约为 $[0,1000]$ km，位于西部地区的甘肃省由于部分机场城市内接续交通需花费较多时间，高铁优势距离区间范围与东部地区接近。此外，随着全程出行距离增加，西部地区省份高铁与民航全程平均速度的差值大于东部地区。当全程出行距离达 2000km 时，甘肃省高铁与民航全程平均速度的差值为 94km/h，广东省高铁与民航全程平均速度的差值为 62km/h。

3.4 高速铁路与民航发展规划

本节选取东西部典型省份，根据各省份“十四五”和2035年远景规划中关于高铁和民航的建设规划内容，总结东、西部地区的发展重心，分析东西部省份对于高铁和民航建设发展思路的差异。

表3-15统计了东部地区典型省份十四五期间高铁线路和机场的规划数量，可以看出，各省份规划的高铁线路条数明显多于机场个数，平均每个省份高铁规划线路条数超过6条，而机场规划个数不足3个。说明在基本实现高铁全覆盖的情况下，对比民航出行方式，东部地区省份仍侧重于发展高速铁路。分析原因为东部地区省份人口密度大、地理位置优越，与高速铁路速度快、运量大、运距适中、接驳便利的特点相契合，对于联系周边省份和省内出行，高铁的竞争优势大于民航。因此，高铁成为东部省份的重要出行方式，不断得到发展完善。

表3-15 十四五期间东西部典型省份高铁线路规划条数统计

东部地区	高铁线路规划数量(条)	机场规划数量(个)
广东	6	2
江苏	4	2
浙江	7	3
福建	6	2
山东	9	4
合计	32	13

数据来源：各省份国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要，2021。

高铁发展方面，鉴于东部地区已基本实现高铁全覆盖，各省份对于高铁的发展目标主要为进一步完善高铁网络，有计划性地提升局部地区的高铁设施供给水平，强化省内城市之间及与周边省市的联系。其中，广东省的发展重点为全面推进沿海高速铁路建设，以广州为交通中心，重点加强粤港澳地区的交通建设；江苏省的发展重点是加强江苏与其他省的联系，中长期规划形成“六纵六横”高速铁路网，高铁规划线路位置较分散；浙江省规划重点为构建“五纵五横”主骨架，所规划的高铁线路主要位于浙江中部和北部，以杭州和宁波为交通中心；福建省规划的高铁线路旨在填补区域路网空白，增强路网机动灵活性，规划线路大部分

位于东南沿海地区；山东省以“市市通高铁”为目标，规划线路大部分位于西部地区，以济南为交通中心。

民航发展方面，东部省份的民航发展以支线机场建设为主，发展重点为构建“干支结合、相互支撑”的航空网络。其中，广东省规划机场分布于西南部地区，旨在构建国际航线、国内干线、区域支线相互支撑的航线网络；江苏省规划机场分别位于江苏省南部和北部区域；浙江省民航规划目标为形成“一核引领、三极支撑、多点联动”的现代化民用机场体系。福建省规划机场分布于福建南部，沿海和内陆各一个，旨在构建相互协调、干支结合的机场群布局；山东省计划到2025年形成“三枢九支”民用运输机场格局，规划机场分布于山东中部地区，从南到北分布。

西部地区典型省份十四五期间高铁线路和机场的规划数量如表 3-16 所示，可以看出，不同于东部省份，除四川外，西部各省份的高铁规划线路较少而机场规划数量较多，西部地区省份以民航为发展重点。分析原因为我国西部地区所处地理位置相对偏远，地广人稀，相较于高铁出行，以中长距离运输为主，运量相对较小，建设成本更低的民航出行方式的竞争优势更大。

表 3-16 十四五期间东西部典型省份高铁线路规划条数统计

西部地区	高铁线路规划数量(条)	机场规划数量(个)
贵州	4	6
云南	2	9
四川	7	7
新疆	2	13
甘肃	3(普速铁路)	4
合计	15	39

数据来源：各省份国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要，2021。

高铁发展方面，西部地区省份的高铁发展思路为以省会城市为中心拓展高铁网络，实现省内主要城市之间及与其他省份主要城市的通达，如云南规划的渝昆高铁、昆丽高铁；四川规划的成渝中线等。其中，贵州省规划的高铁线路均位于贵州省边缘，重点在于加强贵州与其他省的联通；云南省高铁规划线路位于云南东北部，以昆明为交通中心；四川省高铁规划线路多位于四川东南部，加快建设

“四向八廊”战略大通道；新疆的高铁规划以乌鲁木齐为交通中心，规划线路位于新疆西北部；甘肃省的铁路建设规划则以普速铁路为重点。

民航发展方面，由于西部地区省份机场覆盖率较高，各省份对于民航的规划重点为加强局部地区的支线机场建设，进一步补充完善航空网络。其中，贵州省规划机场位于贵州省四周边缘地区，规划目标为加快形成“干支通、全网联”的发展格局；云南省规划机场遍布云南各个地区，以中部最为密集；四川省规划机场位于四川东南部地区；新疆规划重点为西北地区的机场建设，规划目标为形成“东西成扇、疆内成网”格局；甘肃省规划机场分布于甘肃省南部地区，规划目标为进一步完善“干支通结合、客货运并举”的航空服务网络。

此外，对比我国东西部地区的高铁线路和机场建设规划数量，可以发现，我国东西部地区在高铁与民航的发展规划上存在差异。东部地区省份以发展高铁出行为主，西部地区省份则以发展民航出行为主。西部地区案例省份高铁线路规划数量 15 条，低于东部地区案例省份 32 条，而西部地区案例省份民航机场规划数量 39 个则远大于东部地区案例省份的 13 个。

综上，未来我国东西部省份仍将继续发挥其所适宜运输方式的优势，东部地区高铁线网密度将继续增加，高铁里程和服务水平仍将大幅领先西部地区；西部地区则将继续依赖民航运输，完善民航服务网络。

3.5 本章小结

本章从高铁与民航设施供给水平、设施利用率和接续交通条件等角度分析高铁与民航供给水平与服务水平，并结合十四五及 2035 远景年高铁与民航在东西部典型省份规划建设重心深入分析东西部高铁与民航发展思路的差异，得到以下结论：

(1) 从设施水平来看，东部地区高铁设施水平远高于西部地区，西部地区民航机场数量较多，但设施水平仍然略低于东部，东西部地区民航设施水平差距不如高铁显著。西北、西南地区的面积别高铁线网密度较低，分别为 13.08、25km/万 km²，低于全国平均水平 44.73km/万 km²。新疆、四川、云南等西部省份机场

数量较多，但仍然难以覆盖幅员辽阔的西部地区，西北、西南地区面积别机场密度分别为 0.16 个/万 km^2 、0.23 个/万 km^2 ，低于全国平均水平 0.26 个/万 km^2 。从站点覆盖面积来看，华东地区高铁站 15km 与机场 50km 覆盖面积比率分别是西北地区的 14.8、3.2 倍，东部地区高铁与民航设施水平高于西部地区，其中民航的覆盖面积比率差异不如高铁显著。从高铁与民航站点等时圈覆盖范围来看，东部地区广东省高铁站点等时圈覆盖面积是西部地区甘肃省的 6.4 倍，民航站点覆盖面积是甘肃省的 2.4 倍，反映了广东省站点周边接续条件优于甘肃省。

(2) 从设施利用率来看，我国中部、东部地区的高铁线路能力利用率高，西部地区的高铁线路途经的大部分站点地理位置较为偏远，客流量相对较低，高铁线路能力利用率相对较低。西部地区宝兰客专、贵广高铁（贵阳-桂林段）、南昆高铁等线路能力利用率不足 50%，远低于东部地区能力利用率超过 85% 的京广、京沪高铁。非支线机场的能力利用率较高，支线机场能力利用率不均衡。西部地区多支线机场，而支线机场能力利用率较低的现象较为突出，案例省份中 27.5% 的支线机场能力利用率低于 50%。

(3) 东、西部地区旅客接续高铁站、机场的便捷程度有所差异，根据项目组问卷调查，西北地区旅客前往高铁站所需时间在一小时以上占比为 31.4%，前往机场所需时间在两小时以上占比为 30.1%，远高于华东地区（高铁站 14.6%、机场 10.3%）。从接续交通设施配置来看，西部地区非省会城市高铁站、机场衔接交通线路数量远低于东部地区部分城市，东部宁波站、日照西站衔接公交线路数量达到 44、28 条，而西部宜宾西站、广元站衔接公交线路数量低于 15 条。东部地区机场设有多条长途客运班线，以辐射周边县市，如温州龙湾国际机场设客运班线 15 条，西部地区机场则缺乏长途客运班线的配置。局限的公交衔接线路，易导致旅客在城市内需多次换乘才能到达高铁站、机场，或使得旅客转而选择乘出租车等衔接交通方式，增加出行费用。

(4) 考虑高铁站与机场接续时间差异，以广东省、甘肃省为例分析高铁出行占优距离。广东省高铁具有全程平均速度优势的距离区间范围为 $[0,975]\text{km}$ ，甘肃省为 $[0,960]\text{km}$ ，高铁优势范围相近。然而，甘肃高铁设计时速不超过 250km/h，

低于设计时速普遍高于 350km/h 的广东省高铁。受限于甘肃省机场普遍距离市区较远，民航全程平均速度较低，才使甘肃省高铁优势范围与高铁相近。整体来看，西部地区接续环境较差，旅客出行全过程平均速度偏低。

（5）我国西部地区的高铁规划数量普遍少于东部地区，机场规划数量则明显多于东部地区。西部省份对外交通的发展重点为民航，铁路发展规划则以普速铁路建设为主，高速铁路相对较少。东部地区省份则正好相反，高铁成为东部省份联系周边省份和省内出行的重要交通方式。未来东部地区高铁线网密度将继续增加，铁路网总规模相比于西部地区仍大幅领先。

4 高速铁路与民航全过程碳排放水平分析

高铁与民航是城市间出行的重要交通方式。高速铁路主要依靠电力驱动，民航运输依赖航空煤油，在服务旅客出行的过程中这两种交通方式均会产生一定的碳排放。本节重点研究高铁与民航运输全过程的能耗及碳排放。

4.1 高速铁路的能耗与排放效能

高铁作为我国城际间重要交通方式之一，具有速度快、正点率高、能耗低、对环境影响小等特点。高铁列车在运行过程中需要依靠电力完成牵引，其主要碳排放来源于电力上游端。除牵引运行阶段的碳排放外，沿线站段的运营也消耗了电力及其它能源。因此，在考虑高速铁路运输全过程碳排放方面，除牵引阶段外，还需要考虑沿线站段以及养护维修阶段产生的碳排放。本节主要研究高铁运输全过程的碳排放量，重点测算高速铁路牵引运行阶段的碳排放。

4.1.1 研究边界

高速铁路运营阶段主要涉及三个系统：牵引供电系统、站段系统和养护维修系统。其中牵引供电系统用于保障动车组牵引运行；站段系统主要包含客运车站及车辆基地等用能站段；维修养护系统用于保障高速铁路列车安全运行，主要包括对铁路工务养护维修和对电气化设备更新维修养护等。这三个系统共同消耗能源，产生二氧化碳等污染物的排放，构成高速铁路运营阶段的碳排放。高铁运营期运输全过程具体碳排放构成如图 4-1 所示。

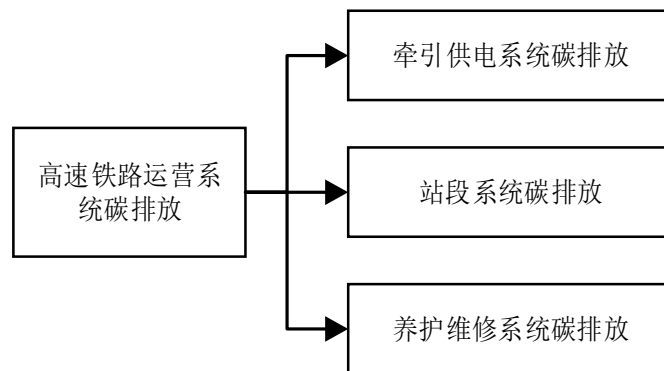


图 4-1 高速铁路运营阶段碳排放构成

（1）高速铁路牵引供电系统

高速铁路牵引供电系统碳排放是指高速铁路牵引供电系统的能耗所产生的二氧化碳排放。高速铁路牵引供电系统碳排放来源于两个方面，一是因动车组牵引运行消耗电能所产生的二氧化碳排放；二是用于服务旅客和辅助动车组运行的设备消耗的电能所产生的二氧化碳排放。牵引供电系统电能分布如图 4-2 所示。

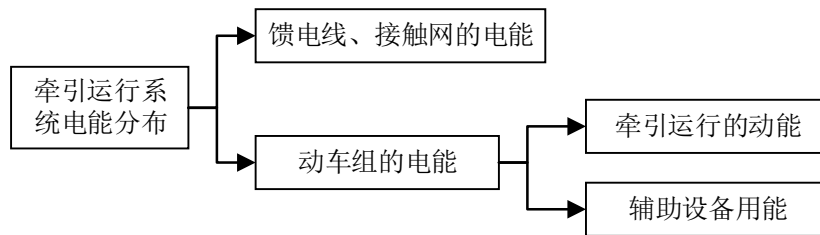


图 4-2 牵引供电系统电能分布

（2）站段系统

站段系统碳排放包含车站、车辆基地等用能站段消耗能源所产生的二氧化碳排放。其中车站系统碳排放是指维持车站正常运营的各种设施设备因能源消耗而产生的二氧化碳排放。客运站耗能设备设施包括售票、检票、问询、楼梯及自动扶梯、照明、空调等。

（3）养护维修系统

高速铁路养护维修系统的碳排放主要是由高速铁路七大工程更新维护过程中产生的，七大工程具体包含轨道工程、桥梁工程、路基工程、隧道工程、电气化工程、动车组养护维修、车站设备维修。

4.1.2 能耗及碳排放计算模型

（1）能耗计算

铁路能耗可分为牵引能耗和非牵引能耗。牵引能耗指用于机车或动车组牵引运行所消耗的能源总量；非牵引能耗指除牵引能耗外的能源消耗量，包括暖通空调、照明、信号、通信及给排水等相关设备能耗。2012-2015 年，我国铁路牵引能耗比例和非牵引能耗比例基本保持一致；2016-2019 年，随着燃煤消耗量的大

幅度降低，非牵引能耗比例逐年下降，牵引能耗比例显著提升^[1]。高速铁路运营期运输全过程的能耗计算方式如下：

$$Q = Q_{\text{牵}} + Q_{\text{非牵}} \quad (4-1)$$

$$Q_{\text{牵}} = Q_{dc} / \alpha \quad (4-2)$$

$$Q_{\text{非牵}} = Q_{zd} + Q_{yh} \quad (4-3)$$

式中： Q 为高速铁路运输全过程能耗， $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； $Q_{\text{牵}}$ 为高速铁路牵引部分的能耗， $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； $Q_{\text{非牵}}$ 为高速铁路非牵引部分的能耗， $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； Q_{dc} 为动车组牵引运行的能耗， $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； Q_{zd} 为站段系统的能耗， $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； Q_{yh} 为养护维修系统的能耗， $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； α 为牵引供电损失率。

(2) 碳排放计算

本节从运输全过程视角考虑高速铁路的碳排放，包括牵引供电系统、站段系统、养护维修系统所产生的碳排放，其计算公式如下：

$$C_{yy} = C_{dc} + C_{zd} + C_{yh} \quad (4-4)$$

式中： C_{yy} 为高速铁路运输全过程碳排放， tCO_2 ； C_{dc} 为牵引系统产生的碳排放， tCO_2 ； C_{zd} 为站段系统产生的碳排放， tCO_2 ； C_{yh} 为养护维修系统产生的碳排放， tCO_2 。

牵引供电系统、站段系统、养护维修系统产生的碳排放直接通过各系统的能源消耗量和相应能源的 CO_2 排放系数得到，其计算公式如下：

$$C_{dc} = Q_{dc} \cdot e(t) \quad (4-5)$$

$$C_{zd} = Q_{zd} \cdot e(t) \quad (4-6)$$

$$C_{yh} = Q_{yh} \cdot e(t) \quad (4-7)$$

式中： $e(t)$ 为第 t 年全国电力排放因子， $\text{kgCO}_2/(\text{kw} \cdot \text{h})$ ，《关于做好2022年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》中2021年前 $e(t)$ 取值 $0.6101 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ 。

(3) 高速铁路运输全过程综合碳排放因子

高速铁路碳排放因子由高速铁路全程碳排放总量与旅客周转量之比计算得到。综合碳排放因子计算模型如下：

$$EF_{gs} = \frac{C_{yy}}{W} \quad (4-8)$$

式中： EF_{gs} 为高速铁路碳排放因子， $\text{gCO}_2/\text{人公里}$ ； W 为高速铁路旅客周转量，人公里。

4.1.3 高速铁路运输全过程碳排放

(1) 铁路运营期碳排放分布

铁路能源消耗类型主要包括电力、燃油、燃煤以及液化石油气、天然气、外购热力等。根据黄民的研究^[1]，2019年，铁路能源种类以电力、柴油和燃煤为主，电力消耗量所占比例最高，占65.5%左右，油类和煤炭分别占23%和2.5%左右，天然气、煤气、市政热力等其它类型能源所占比例为9%。2012-2019年，由于既有线电气化改造以及新电气化线路开通，电力机车数量和承担的工作量明显提升，牵引用电量不断上升，电力消耗占总能耗的比例从34.1%上升至65.5%。由于内燃机车逐步被电力机车替代，油类消耗占比从38.1%下降至23%。受“三供一业”移交、大气污染严格治理、燃煤设施设备技术改造、集中供暖等影响，燃煤消耗占比从24.4%下降至2.5%^[1]，用能结构得到大幅优化。对于电力能耗，牵引供电能耗占60%，非牵引占40%。非牵引部分电力能耗用于车站运营系统及养护系统，其中车站系统占65%，养护系统占35%^[2]，如图4-3所示。

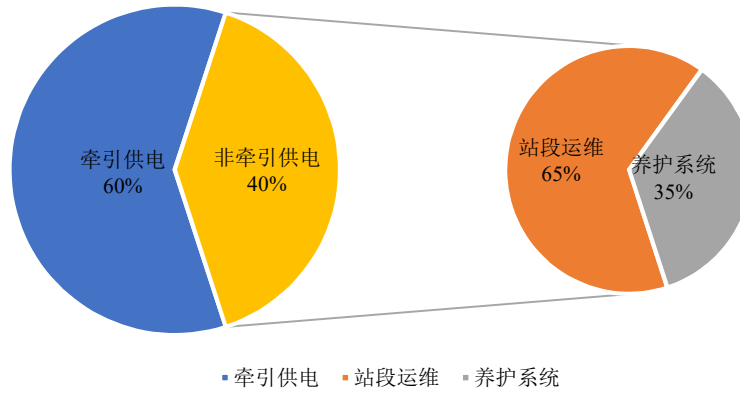
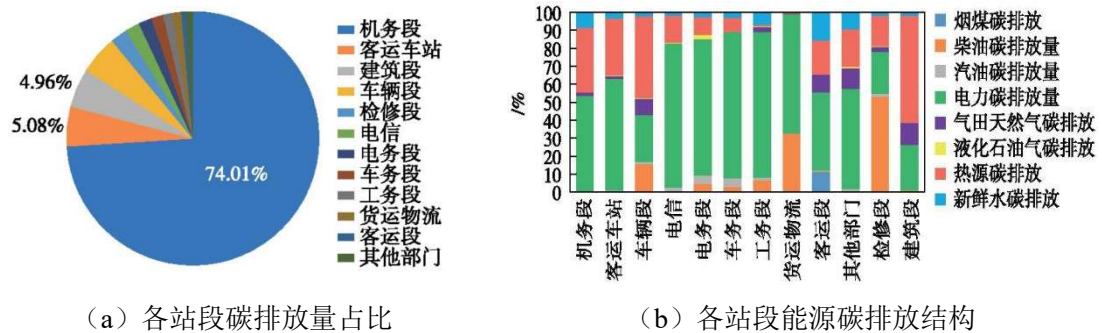


图 4-3 铁路电力能耗分布

图 4-4 为各类铁路站段运营期碳排放来源及分布统计。从站段层面来看，各站段的碳排放以电力消耗为主，其它能源贡献因站段功能而异。其中机务段碳排放量占比最大，机务段排放中非电力占 46%。其它站段非电力消耗也产生了大量碳排放，车辆段、客运段、检修段、建筑段非电力碳排放量占比超过 50%^[1]。机务段由于车辆机械设备对燃油消耗较多，同时使用频繁，因此柴油、汽油等燃油能源碳排放贡献占比较大；车辆段、客运车站等人员较为集中的站段及部门，日常制冷供暖对热源需求较高，因而此部分碳排放占比较大；客运段、客运车站等配备有食堂、澡堂的部门在气田天然气及液化石油气方面的消耗也不可忽视。



(a) 各站段碳排放量占比

(b) 各站段能源碳排放结构

图 4-4 各类铁路站段运营期碳排放来源及分布^[1]

(2) 高速铁路运输全过程的能耗与排放计算

根据《中国铁道年鉴（2018-2020）》中的数据，整理得到铁路总牵引供电量和高速铁路牵引供电量，如表 4-1 所示。2017-2019 年高速铁路牵引供电量逐年上升，占总牵引供电量的比值从 37.6%上升至 43.6%，这一变化的原因在于高速

铁路旅客周转量占铁路旅客周转量的比重在不断提高，2017-2019 年高铁客运周转量占铁路客运周转量比重从 43.7% 上升至 52.7%。

表 4-1 高速铁路牵引供电量及占比

	2017	2018	2019
牵引供电总量 (亿 kW·h)	664.07	735.96	802.77
电力机车牵引用电量 (亿 kW·h)	394.91	413.42	431.26
电力机车牵引供电量 (亿 kW·h)	414.43	436.42	452.63
高铁牵引供电量 (亿 kW·h)	249.63	299.55	350.15
高速铁路牵引供电量占比	37.6%	40.7%	43.6%

数据来源:

牵引供电总量数据来源于《铁道统计年鉴 (2018-2020)》。

电力机车牵引用电量数据根据《铁道统计年鉴 (2018-2020)》中的电力机车工作量与电力机车单位工作量电耗数据测算。

电力机车牵引供电量=电力机车牵引用电量/(1-供电损失率)，供电损失率数据来源于《铁道统计年鉴》，2017、2018、2019 年供电损失率分别为 4.71%、5.27%、4.72%。

高速铁路牵引供电量=牵引供电总量-电力机车牵引供电量。

高速铁路牵引供电量占比=高速铁路牵引供电量/牵引供电总量。

在研究高速铁路运营期碳排放特征时，任南琪^[1]研究了中国北方某高速铁路车站，发现该车站的碳排放除了水资源消耗的产生之外，主要来自于电力消耗，占比超过 99%。崔占伟^[3]将高铁运营期碳排放来源分为牵引供电、车站运营及养护维修系统。其中，牵引供电为高速铁路运营期碳排放贡献占比最大的因素，占比达 86.2%；其次为车站运营，占比为 11.2%。因此，本报告假设高速铁路运营期所消耗的所有能源都为电能，且牵引过程的电耗占运营期运输全过程的比值为 86.2%。借助表 4-1 中的高铁牵引阶段的供电量数据以及供电损失率计算，得出 2017-2019 年高铁牵引阶段及运输全过程的电力消耗量，具体结果如表 4-2 所示。

表 4-2 高速铁路牵引阶段及运输全过程电力消耗量

	2017	2018	2019
供电损失率	4.71%	5.27%	4.72%
高铁牵引用电量 (亿 kW·h)	237.87	283.76	333.62
高铁运输全过程用电量 (亿 kW·h)	275.95	329.19	387.03

数据来源:

供电损失率数据来源于《铁道统计年鉴 (2018-2020)》。

高铁牵引用电量=高铁牵引供电量*(1-供电损失率)。

高铁运输全过程用电量=高铁牵引用电量/0.862。

根据表 4-2 中高速铁路电力消耗量及我国电力碳排放因子数据，测算我国高速铁路运营期牵引运行阶段及运输全过程碳排放量及碳排放因子，如表 4-3 所示。

表 4-3 高速铁路的碳排放量及碳排放因子

	2017	2018	2019
高铁运输全过程碳排放量（万 tCO ₂ ）	1683.57	2008.39	2361.27
高铁牵引阶段碳排放量（万 tCO ₂ ）	1451.24	1731.22	2035.42
高速铁路旅客周转量（亿人公里）	5875.6	6871.90	7746.70
综合碳排放因子（g CO ₂ /人公里）	28.65	29.23	30.48
牵引阶段碳排放因子（g CO ₂ /人公里）	24.70	25.19	26.27

数据来源：高速铁路旅客周转量来源于《中国统计年鉴》。

从表 4-3 可以看出：2017-2019 年高铁碳排放因子不断上升。根据《中国统计年鉴》公布的高铁运营里程数据，2017、2018、2019 年我国高铁的运营里程分别达到 2.52、2.99、3.54 万 km，运营里程规模增长迅速，2017-2019 年均增长率达到 12.0%，但客运周转量年均增速仅为 9.7%，新投入运营的高铁客流规模不足，导致近三年来的高铁运营阶段碳排放因子及运输全过程的综合碳排放因子增加。2017-2019 年高速铁路牵引阶段及运输全过程的碳排放量在不断上升，运输全过程的综合碳排放因子为 28.65-30.48gCO₂/人公里，若仅考虑牵引阶段，高速铁路运行碳排放因子为 24.70-26.27gCO₂/人公里，相比之下，每年全过程的高速铁路综合碳排放因子较牵引阶段增加了 3.95-4.21gCO₂/人公里（约 16%），这部分碳排放来自于车站、车辆基地等用能站段以及高速铁路七大工程更新维护。

（3）高速铁路运输牵引阶段的能耗与排放

动车在运行阶段需要使用牵引供电系统来保障正常运行，供电系统的能耗是高速铁路整个运营期碳排放的主要来源。国内外对列车运行阶段的碳排放开展了大量研究，表 4-4 对比了国内外高速铁路牵引运行阶段的碳排放因子。

表 4-4 2019 年世界不同地区高铁碳排放因子

国家	高铁运行阶段碳排放因子 (gCO ₂ /人公里)	火电占比	电力排放因子 (gCO ₂ /kwh)
中国	26.27	68.88%	610.10
法国	1.73	3.76%	55.00
德国	20.47	43.01%	353.00
日本	19.6	75.00%	444.00

数据来源:

我国高铁运行阶段碳排放因子为本项目自算;火电占比数据根据《中国电力统计年鉴-2020》数据测算;电力排放因子来源于《关于做好 2022 年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》。

法国高铁运行阶段排放因子来源于 SNCF 官网,具体链接为 <https://www.sncf-reseau.com/fr/atouts-rail-transport-responsable-et-durable>;火电占比数据来源于《Chiffres clés de l'énergie Édition 2021》;电力排放因子来源于 <https://www.edf.fr/groupe-edf/agir-en-entreprise-responsable/responsabilite-societale-dentreprise/plus-loin-dans-la-reduction-des-emissions-de-co2>。

德国高铁运行阶段排放因子来源于《comparative specific energy consumption between air transport and high-speed rail transport: A practical assessment》;火电占比来源于《Bruttostromerzeugung in Deutschland》;电力排放因子来源于《Umweltbundesamt. Entwicklung der spezifischen treibhausgas-emissionen des Deutschen strommix in den jahren 1990 – 2021》。

日本运行阶段碳排放因子来源于国土交通省,具体链接为 https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html 及 https://www.mlit.go.jp/tetudo/shinkansen/shinkansen3_2.html;火电占比来源于電気事業連合会,具体链接为 <https://www.fepec.or.jp/smp/nuclear/state/setsubi/index.html>;电力排放因子来源于日本電気事業低炭素社会協議会,具体链接为 <https://www.ene100.jp/zumen/2-1-16>。

从表 4-4 可以看出:在四个国家中,我国高铁牵引运行阶段的碳排放因子最大,这是因为我国的火电占比高,火电中燃煤发电的比例较大。法国、德国火电占比远低于我国,日本火电占比虽高,但其中燃气占火电比重达 49.33%,该比例高于我国火电中燃气发电形式的占比 4.86%。

图 4-5 给出了 EIA (Energy Information Administration, 美国能源信息署)关于我国 2030、2040、2050 年发电结构的预测结果以及根据发电结构预测值测算的我国高铁运行阶段碳排放因子。从 EIA 公布的预测值可见,未来火电占比将大大下降,太阳能、核能发电占比大幅度提升。结合 EIA 公布未来发电结构,测算出 2050 年我国高铁运行阶段碳排放因子为 15.33CO₂/人公里,较 2019 年

(26.27gCO₂/人公里)下降 41.6%。当风能、太阳能、核能发电得到大力推广后,逐渐形成多元化发电结构,高铁运行阶段的清洁化程度大大提高。发电端能源结构清洁化转型还有很长的路要走,若能改善发电结构,控制火电发电量,以非化石能源发电为主导,我国高铁客运的环保优势有望得到显著提升。

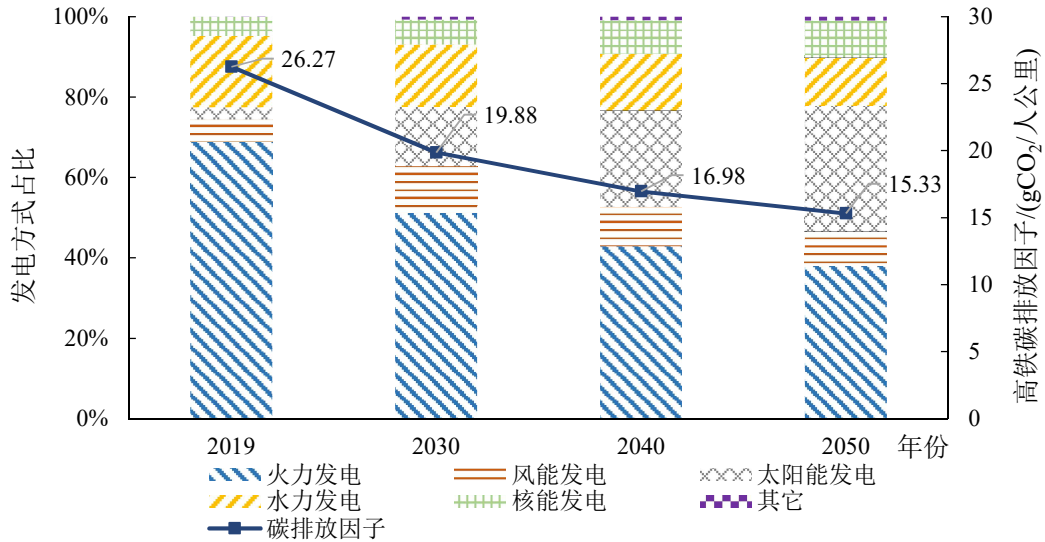


图 4-5 高铁运行阶段碳排放因子预测

除发电结构外,客座率也对高铁运行阶段碳排放因子有影响,客座率与高铁运行阶段碳排放因子的关系如图 4-6 所示。2019 年高铁客座率平均为 73.6%, 高铁运行阶段碳排放因子为 26.27gCO₂/人公里,若不改变发电结构,随着客座率的上升,高铁运行阶段碳排放因子下降,当客座率达到 90%时,碳排放因子可望降低至 21.48gCO₂/人公里。

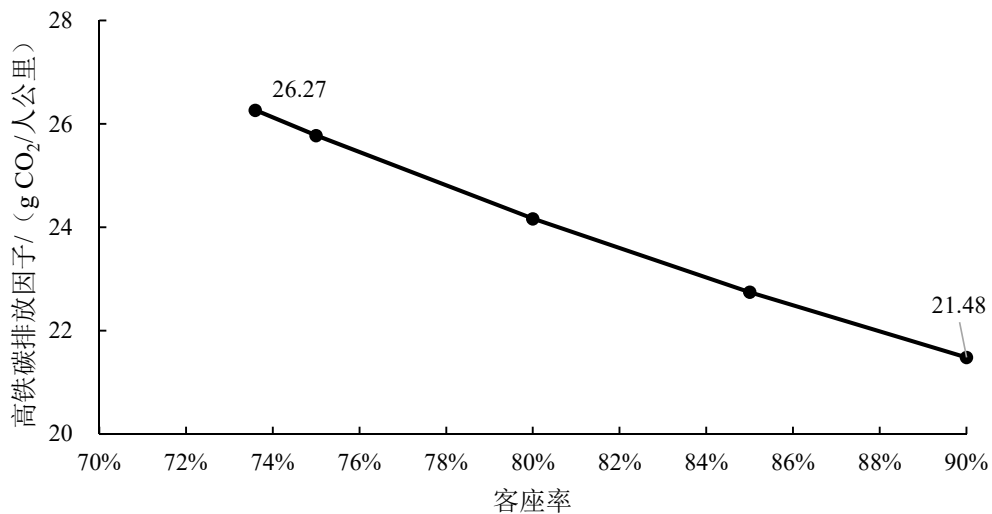


图 4-6 客座率与高铁运行阶段碳排放因子的关系

4.2 民航的能耗与排放效能

民航是我国重要的客运交通方式，2015-2019 年其承担的旅客周转量占全国方式比例快速上升，由 2015 年的 24% 上升至 2019 年的 33%，平均运距也呈现上升趋势。民航飞机通常采用航空煤油化石燃料作为其主要能源，易产生大量的碳排放。把握民航业能耗现状，分析民航客运全过程碳排放以及民航飞机飞行过程碳排放，有助于民航业优化运营组织，早日实现碳减排。

4.2.1 民航飞行过程能耗与碳排放概况

通过整理民航航空煤油消耗量，采用自上而下的方法计算我国民航客运飞行过程（仅含燃料燃烧过程，不含煤油炼制过程）能源消耗碳排放量，如下图 4-7 所示。其中，航空煤油低位发热率取值 43.07 吉焦/吨，单位热值含碳量取值 0.0196 吨碳/吉焦，在 98% 碳氧化率基础上，航空煤油碳排放因子为 3.033tCO₂/t。可以看出，我国民航航空煤油消耗量及飞行过程碳排放量总体呈现上升趋势，碳排放由 2015 年 0.78 亿吨上升至 2019 年 1.12 亿吨，2015-2019 年碳排放量上升 43.6%。根据 IEA 统计我国 2019 年交通碳排放量 9.01 亿吨，民航客运占比达到 12.4%，是除公路以外我国第二大交通碳排放源。

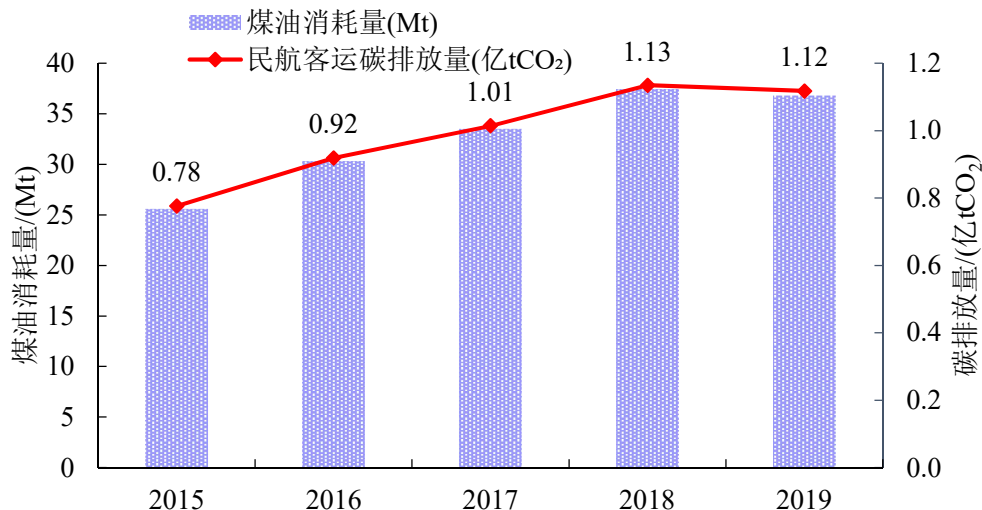


图 4-7 2015-2019 年航空煤油消耗量及民航客运飞行过程碳排放量

注：民航煤油消耗量数据来源于王庆一《2020 能源数据》。化石燃料参数来源于《企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施》。

此外，2019 年相较 2018 年民航客运飞行过程碳排放量有所下降，而客运周转量上升 9.3%，民航客运飞行过程碳排放量因子出现下降趋势。根据上述民航客运飞行过程碳排放量计算结果，结合中国统计年鉴中民航周转量数据，测算我国 2015-2019 年民航客运飞行过程碳排放因子如下图 4-8 所示。

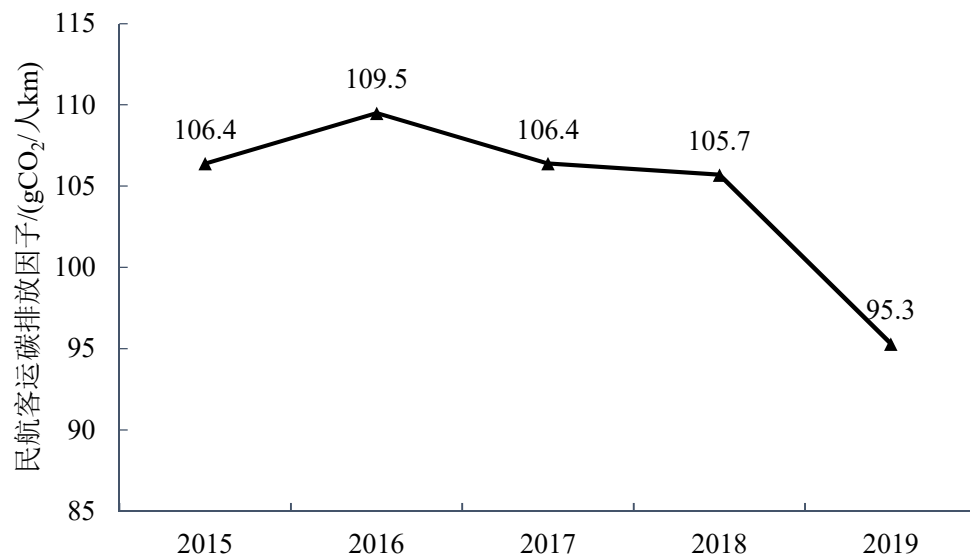


图 4-8 2015-2019 年民航客运飞行过程碳排放因子

可以看出，我国民航客运飞行过程碳排放因子总体呈现下降趋势，2019 年飞行过程碳排放因子为 95.3gCO₂/人公里，较 2016 年下降了 14.9%。分析原因为，民航客座率逐年上升，2010-2019 年我国民航平均客座率由 80.87% 增至 86.39%；此外，民航平均运距上升，2010-2019 年我国民航平均运距由 1509km 上升至 1774km，由于飞机 LTO 阶段碳排放强度较大，因此平均巡航距离的提升将导致飞行过程碳排放因子下降。同时，民航飞机的技术进步客观存在，机龄较小的飞机碳排放强度较低。从我国民用飞机期末架数来看，2010 年我国运输飞机仅 1597 架，2019 年达到 3818 架，10 年间购入了大量新飞机，使平均机龄降低。

为分析我国民航客运飞行过程碳排放因子水平及影响因素，对比发达国家民航客运指标及飞行过程碳排放因子，如下表 4-5 所示。

表 4-5 2019 年各国民航客运飞行过程碳排放因子对比

国家	平均上座率	平均运距 (km)	飞行小时 (万 h)	飞行过程客运碳排放因子(gCO ₂ /人 km)
美国	83.50%	1153	2180.1	147.8
英国	85.90%	1923 (含国际)	321.4	103.2
日本	73.80%	986	212.4	98
中国	86.39%	1774	1231.1	95.3

数据来源:

美国平均上座率与飞行小时来源于美国交通运输部,平均运距根据美国交通运输部公布的客运量与旅客周转量求取,上座率及客运量链接为https://www.transtats.bts.gov/Data_Elements.aspx?Data=5;旅客周转量来源链接为<https://www.bts.gov/content/us-passenger-miles>;飞行小时数据来源链接为<https://www.bts.gov/content/us-general-aviation-safety-data>;民航飞行过程客运碳排放因子来源于<https://www.epa.gov/greenvehicles/archives-fast-facts-us-transportation-sector-greenhouse-gas-emissions>。

英国平均上座率数据来源于英国民航局,平均运距根据英国民航局公布的客运量及旅客周转量求取,由于其公布客运量与客运周转量包含国际航班,因此其平均运距较大,客运量、旅客周转量与飞行小时具体来源链接为<https://www.caa.co.uk/Documents/Download/4007/41d1c005-464b-4ae2-967c-40ab4e723a0c/539>;民航飞行过程客运碳排放因子来源于英国下议院《UK Parliament. Aviation, decarbonisation and climate change Published Monday》。

日本平均上座率来源于<https://www.statista.com/statistics/1241697/japan-passenger-load-factor-domestic-air-carriers/>;平均运距根据客运量及旅客周转量数据求取,客运量及周转量数据来源于<https://www.statista.com/statistics/627510/japan-number-domestic-air-passengers/>;民航飞行过程客运碳排放因子来源于国土交通省,具体链接为https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html。

我国的平均上座率与飞行小时来源于《从统计看民航》,平均运距根据客运量及周转量求取,客运量与周转量数据来源于《中国统计年鉴》,我国民航飞行过程客运碳排放因子根据王庆一《2020 能源数据》公布的民航能源消耗数据及《中国统计年鉴》公布的民航旅客周转量数据测算。

由表 4-5 可见,我国民航客运飞行过程碳排放因子低于美国、英国和日本。我国具有人口众多、国土面积广大的特点,平均客座率高于美日英三国。美国民航客运飞行过程碳排放因子较高,一方面是由于其平均运距相对较低,另一方面

美国的通用航空飞机、小型运输机的数量极大，该类机型的载客量较小，碳排放因子较大。日本虽然平均上座率和平均运距均较低，但其飞行过程碳排放因子低于美国和英国。根据 JAPAN AIRLINES 统计，日本的民航机型以宽体飞机为主，2022 年日本宽体飞机占比达到 52%，而我国宽体飞机占比为 12%。宽体飞机的载客量极大，在相同客座率的情况下，飞行过程碳排放因子较低。

4.2.2 民航客运全过程碳排放

民航客运全过程碳排放包括飞机飞行阶段碳排放及机场非飞行器排放源碳排放，其中飞机飞行阶段的碳排放除了飞行过程燃料燃烧碳排放外，还包括航空燃油炼油过程的碳排放。

(1) 航空煤油炼油过程碳排放

航空煤油与汽油、柴油等，属于石化行业中炼油-成品油子行业的产品。根据 2022 年北京大学能源研究院《中国石化行业碳达峰碳减排路径研究报告》，2021 年中国石化行业中炼油子行业吨产品碳排放量为 0.325tCO₂/t。2019 年我国民航航空煤油消耗量为 36.84Mt，计算可得，炼油阶段碳排放量为 1197.3 万吨。

考虑航空煤油炼油过程碳排放后，民航客运飞行阶段碳排放总量为 1.24 亿吨，碳排放因子为 105.5gCO₂/人 km。

(2) 机场碳排放测算

既有研究中机场碳排放包括飞机起降 LTO 过程碳排放、航站楼碳排放和各类地面支持设施碳排放。航站楼是服务于民航旅客出行的关键节点，测算机场碳排放能够更好把握民航运行全过程碳排放。

1) 测算方法一

ACERT(Airport Carbon Emission Reporting Tool)是由 ACI(Airport Council International)研发，可用于全球机场识别、量化和管理其温室气体排放。该工具于 2020 年更新至 6.0 版本。ACERT 将机场碳排放分为三个部分^[4]，如下表 4-6 所示。

表 4-6 机场活动的三个范围

范围 (Scope)	描述	举例
Scope1	机场运营商拥有或租赁的排放源（化石和其他）	车辆和机械燃料、锅炉房、熔炉、应急发电机、消防、表面除冰、维保。
Scope2	机场运营商购买和自用的电力、热量或蒸汽排放	来自城市公共事业的电力和热力。
Scope3	非机场运营商拥有的机场系统资源	飞机（引擎、辅助动力装置 APU）、发动机测试、除冰、陆侧交通、员工公务出行、第三方排放（例如锅炉、制冷、发电机、建筑）。

数据来源：参考文献[4]

2014 年，中国民用航空协会对超过 40 个中国机场碳排放进行了调查，搜集了相关的运营数据，采用 ACERT 工具测算了各机场的碳排放量情况。报告对数据完备的 16 个机场进行了相应的统计分析，发现机场的 CO₂ 的排放量随着吞吐量的增加而增加，趋势和吞吐量的递增趋势极其一致，机场碳排放与机场旅客吞吐量呈正相关关系^[5]。本项目借鉴中国民用航空协会研究报告中关于旅客吞吐量与机场碳排放的规律成果，重新测算了我国 2019 年不同规模机场旅客吞吐量与碳排放总量的关系，如下表 4-7 所示。

表 4-7 不同规模机场旅客吞吐量与碳排放总量

旅客吞吐量规模	机场个数 (个)	旅客吞吐量(万人 次)	碳排放总 量(万 t)	单位旅客碳排放 量(kg/人次)
1000 万人次以上	39	112631	2742.6	24.4
100-1000 万人次	67	17806	476.3	26.7
100 万人次以下	132	4726	163.7	34.6

数据来源：机场个数与旅客吞吐量数据来源于《2019 年民航机场生产统计公报》。

由表 4-7 可以看出，规模较大机场的单位旅客碳排放量较小，这主要是因为大规模机场旅客密度较大，能够有效分摊机场固定碳排放消耗。2019 年我国 39 个吞吐量过千万的机场承担了我国 83% 的旅客吞吐量，规模较小的 199 个机场仅承担了 17% 的旅客吞吐量。未来我国将建成更多的支线机场，不具备较强的碳排放规模效应，应进一步探索机场碳减排方法。

图 4-9 描述了中国民用航空协会采用 ACERT 工具测算典型机场不同部门碳排放的研究成果。

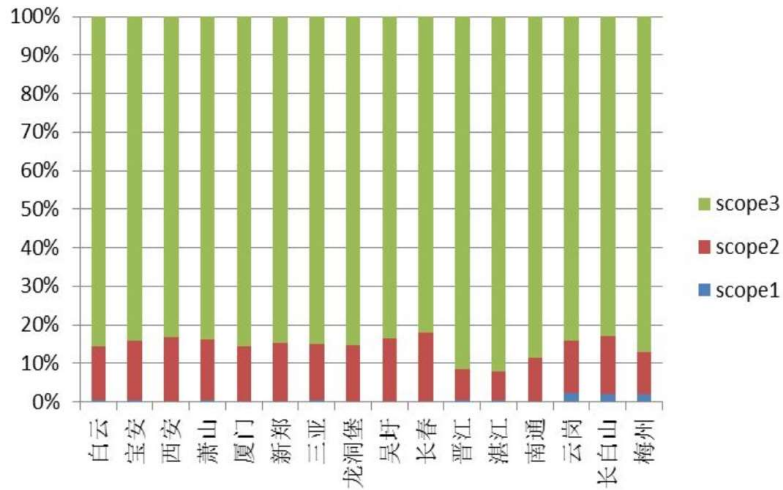


图 4-9 典型机场不同部门碳排放

来源：参考文献[5]

由图 4-9 可见，机场碳排放量的 84%-92%是 Scope3，其次是 Scope2，约 7%-17%，而 Scope1 仅 0.5%-2%左右。Scope1、Scope2 之和约占总排放量的 7.5%-19%，平均占比为 11.54%。其中，Scope3 中包含了飞机在机场 LTO 阶段的引擎碳排放，是 Scope3 的主要构成要素。

由表 4-7 和图 4-9 可见，机场碳排放中，飞机 LTO 阶段排放占比 80%-90%。根据 2019 年旅客平均运距 1774km 计算，机场旅客碳排放因子为 27.5-39.0gCO₂/人 km。其中，不包含飞机 LTO 阶段的机场非飞行器排放源碳排放因子为 2.8-7.4gCO₂/人 km，占民航客运全过程碳排放的 2.5%-7.5%。

2) 测算方法二

Postorino 和 Mantecchini(2014)^[6]采用碳足迹法，测算了意大利博洛尼亚国际机场的各项碳排放源的碳排放量及碳排放因子。机场重点 CO₂ 排放源的排放量及单位人次的碳排放因子，如下表 4-8 所示。可以看出，机场碳排放中，飞机 LTO 阶段的碳排放占比超过 80%。机场航站楼、配套设施等消耗量较小。

表 4-8 机场各类排放源的 CO₂ 排放量及碳排放因子

排放源	CO ₂ 排放量(kg)	碳排放因子
各类能源消耗	6772681	1.1kg/人次
飞行器 LTO 过程	45089125	670.4kg/班次
地面支持设施及 APU 的能源消耗	1807081	26.9kg/班次

数据来源：参考文献[6]

既有文献同时测算飞机飞行过程碳排放量与机场碳排放量的研究较少，而既有研究对两方面的测算均包含了飞机 LTO 飞行阶段。因此，本文通过整理飞机 LTO 飞行阶段在飞机飞行过程以及机场的碳排放占比，探讨民航客运全过程碳排放量构成。民航客运全过程碳排放量 E_{Total} 由下式计算：

$$E_{Total} = E_C + E_L + E_T \quad (4-9)$$

式中， E_C 表示飞机巡航阶段碳排放量； E_L 表示飞机 LTO 阶段碳排放量； E_T 表示机场非飞行器排放源的碳排放量。

既有研究中，飞机飞行部分碳排放量 E_F 为 E_C 和 E_L 之和，机场碳排放量 E_A 为 E_L 和 E_T 之和。根据上述 Postorino 的研究成果， E_L 占机场碳排放量 E_A 超过 80%。朱佳琳^[7]研究表明，国内航班巡航阶段碳排放量占全飞行过程碳排放量比例为 80%~90%，LTO 阶段碳排放量占比 10%~20%，即 $\frac{E_c}{E_c + E_L} = 80\% \sim 90\%$ 。

结合上述研究成果，在飞机 LTO 阶段碳排放量 E_L 占机场碳排放量 E_A 为 80% 和 90% 的情境下，计算民航客运全过程各阶段碳排放量占比如下表 4-9 所示。

表 4-9 民航客运全过程中各阶段碳排放量占比

	飞机巡航阶段占飞行全过程 80% 飞机 LTO 阶段碳排放量占机场碳排放量 80%情景	飞机巡航阶段占飞机全过程 90% 飞机 LTO 阶段碳排放量占机场碳排放量 90%情景
飞机巡航阶段	78.04%	89.0%
飞机 LTO 阶段	17.64%	9.9%
机场非飞行器排放源的碳排放量	4.32%	1.1%

由表 4-9 可以看出，在民航客运全过程中，机场非飞行器排放源的碳排放量占比为 1%-4.3%，飞机运行部分的碳排放量占比为 96%-99%。

综上所述，2019 年考虑炼油过程碳排放的民航飞机飞行阶段碳排放因子为 105.5gCO₂/人 km；机场非飞行器排放源占民航客运全过程碳排放比例为 1%-7.5%，碳排放因子为 1.1-7.4gCO₂/人 km。因此，民航客运全过程碳排放因子约为 106.6-112.9gCO₂/人 km。

4.2.3 民航飞行过程碳排放影响因素分析

航班一次完整的飞行过程包括 LTO(Landing and Take-off Cycle)循环和高空巡航两个阶段。其中，LTO 循环是飞机从高空降落至机场又重新起飞至一定高度的封闭过程，完整的 LTO 循环分为起飞、爬升、接近和滑行 4 个过程。LTO 各阶段引擎推力及工作时间如表 4-10 所示。起飞过程是飞机以最大推力在地面加速，达到决断速度且飞机的升力大于重力后，飞机离开地面并上升至起飞终止高度（约 450m）的过程；爬升过程为起飞结束到冲出大气边界层的过程，此阶段引擎推力约为最大推力的 85%；接近过程是飞机由巡航高度下降至起飞终止高度，引擎推力降低为最大推力的 30%。滑行过程是飞机从一定高度着陆并制动，直至速度降为零的过程，引擎推力约为最大推力的 7%。国际民用航空组织（ICAO）的研究^[8]显示，飞机在起飞、爬升、接近和滑行过程所耗时间分别约为 0.7、2.2、4.0 和 26.0min。

表 4-10 ICAO 标准 LTO 各阶段的引擎推力和工作时间

LTO 阶段	引擎推力	工作时间(min)
起飞(Take-off)	100%	0.7
爬升(Climb)	85%	2.2
进近(Approach)	30%	4.0
滑行(Taxi/ground idle)	7%	26.0

数据来源：参考文献^[8]

机型基本参数的不同会产生不同的碳排放因子。欧洲 EuroControl 及美国 FAA 根据飞机重量、速度、翼展等因素，定义了新的飞机分类方法 RECAT-EU。该方法将飞机分为六类（Super Heavy、Upper Heavy、Lower Heavy、Upper Medium、

Lower Medium、Light)。选取 Super Heavy、Upper Heavy、Upper Medium、Lower Medium 四种类型中数据相对完善、应用较为广泛的机型为例，研究飞行器碳排放因子随里程的变化规律。选取的典型机型参数如下表 4-11 所示。

表 4-11 不同等级典型机型参数

飞机等级	四位数	引擎型号	引擎数量	油耗速率(kg/sec)					额定载客量
				起飞	爬升	接近	滑行	巡航	
Super Heavy	A388	Trent 972-84	4	2.672	2.210	0.735	0.258	0.958	525
Upper Heavy	B742	RB211-5 24C2	4	2.481	2.019	0.742	0.300	0.950	366
	B772	Trent 800-875	2	3.100	2.569	0.881	0.281	0.697	440
Upper Medium	A318	CFM56-5B9/3	2	0.955	0.793	0.277	0.095	0.512	109
	A319	CFM56-5B5/3	2	0.894	0.743	0.264	0.092	0.512	160
	A321	V2530-A 5	2	1.314	1.071	0.385	0.145	0.417	185
Lower Medium	B737	CFM56-7B24	2	1.103	0.911	0.317	0.108	0.390	132
	E175	CFM56-7B24	2	0.592	0.486	0.167	0.061	0.247	78

数据来源：

飞机等级、引擎型号及额定载客率数据来源于 Eurocontrol: Aircraft Performance Database. <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>。

引擎 LTO 阶段油耗速率数据来源：ICAO Aircraft Engine Emission Databank (EEDB)。

巡航油耗速率来源于林左鸣. 世界航空发动机手册 [M]. 北京：航空工业出版社，2012。

各机型可装载的引擎来自不同公司，由于数据缺失，表中并未列出广泛应用于空客和波音的 PW 系列引擎，仅以 CFM 和 V2500 等系列引擎为例。大部分机型装载 2 个引擎，少部分重型机型装载 4 个引擎。在整个飞行过程中，耗油速率与引擎提供的推力成正相关，各机型起飞耗油速率最大，滑行阶段耗油速率最小。由于重型飞机重量大、载客量高、引擎数量多，其飞行各阶段的耗油速率均显著高于中型飞机。

假设各类机型巡航阶段平均飞行速度为 800km/h，根据表 4-10 中 LTO 阶段

标准工作时间，计算 800-2000km 航程下的飞机碳排放因子。其中，客流量按额定载客量计算，飞行碳排放因子定义为飞机每人公里的 CO₂ 排放量。各机型不同航程下的碳排放因子如图 4-10 所示。

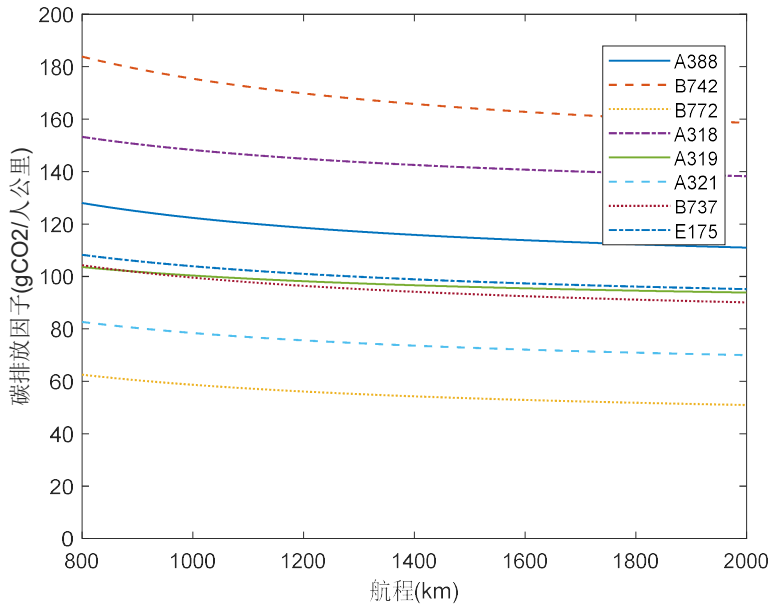


图 4-10 典型机型不同航程下的碳排放因子

从图 4-10 可发现，各机型的 CO₂ 排放因子随航程增加而平稳降低。碳排放因子受机型装载引擎数量和额定载客量的影响，重型飞机 B772 仅装载两个引擎，虽然额定载客量达到 440 人，但其碳排放因子最低；相比同等级的重型飞机 B742 飞机，由于装载 4 个引擎，额定载客量为 366 人，在航程相同时，碳排放因子在表中罗列出的典型机型中最高，约为 B772 的三倍。在航程为 1800km 时，重型飞机 B772 和中型飞机 A321、A319，中轻型飞机 B737 的碳排放因子均小于 100gCO₂/人公里。轻型飞机虽然单位里程碳排放量较小，但载客量小，碳排放因子较高。

表 4-12 给出了八种常见机型 LTO 阶段的碳排放量及其占比和在 800、1500、2000km 里程下巡航阶段的碳排放量。其中，各机型 LTO 及巡航阶段的碳排放因子 E_i 和巡航阶段的工作时间 WT_5 分别由下式计算。

$$E_i = \frac{NE \times EF \times \sum_{i=1}^5 WT_i \times r_i}{NA \times VOY} \quad (4-10)$$

$$WT_5 = \frac{VOY_{巡航}}{v_{巡航}} \quad (4-11)$$

公式 4-10 中： NE 为飞行器的引擎数量，个； EF 为每千克航空煤油的二氧化碳排放量， $kgCO_2/kg$ ； WT_i 表示飞机飞行第 i 阶段的工作时间， $i=1,2,3,4,5$ ，分别表示起飞、爬升、接近、滑行、巡航阶段； r_i 分别为起飞、爬升、接近、滑行、巡航阶段的油耗速率， kg/sec ； NA 为飞行器额定载客量，人； VOY 为飞行器单次航程公里数， km 。 $VOY_{巡航}$ 为巡航阶段的航程， km ； $v_{巡航}$ 为巡航阶段的速度， km/h 。

表 4-12 典型机型 LTO 阶段即巡航阶段碳排放量

四 字 码	引擎型号	LTO 阶段 碳排放量 ($kgCO_2$)	巡航阶段碳排放量 ($kgCO_2$)			LTO 阶段碳排放量占比		
			800 km	1500 km	2000 km	800 km	1500 km	2000 km
A388	Trent 972-84	3933	13795	25866	34488	22.2%	13.2%	10.2%
B742	RB211-524C2	4067	13680	25650	34200	22.9%	13.7%	10.6%
B772	Trent 800-875	2238	5018	9410	12546	30.8%	19.2%	15.1%
A318	CFM56-5B9/3	719	3686	6912	9216	16.3%	9.4%	7.2%
A319	CFM56-5B5/3	685	3686	6912	9216	15.7%	9.0%	6.9%
A321	V2530-A5	1029	3002	5630	7506	25.5%	15.5%	12.1%
B737	CFM56-7B24	823	2808	5265	7020	22.7%	13.5%	10.5%
E175	CFM56-7B24	449	1780	3338	4450	20.1%	11.9%	9.2%

由于飞机起飞阶段发动机需要提供 100%最大推力，爬升阶段需发动机提供 85%最大推力，这两阶段耗油速率最大，起飞和爬升持续时间较短，故 LTO 循环阶段碳排放量较高。巡航阶段发动机提供推力降至 34%，油耗速率稳定在较低水平，单位里程 CO_2 排放量较低，巡航阶段碳排放量随里程增加而增加。同一飞机，在航程增大时，LTO 阶段排放量占总航程排放量比例降低，航程越大，LTO 排放量占比越小。

不同机型的 LTO 阶段排放量差距较大，超重型飞机 A388 和重型飞机 B742 排放量约为 3.9 和 4.0 吨，而中轻型飞机排放量不足 1 吨。但随着航空里程增大至 2000km，重型和中轻型飞机 LTO 阶段排放量占比逐渐接近，约 10.5%左右。中型飞机 A318、A319 的 LTO 阶段排放占比相对较小，均低于 10%。

经停次数和航程是影响民航碳排放因子的两个主要因素。图 4-11 和图 4-12 分别为空客 A330 和空客 A321 在直达和经停一次、航程分别为 1000、1500、2000km 的情况下的碳排放因子，以及经停一次碳排放的增加比重。假设两种机型巡航阶段均以额定巡航速度飞行，客座率均为 100%。两种机型经停一次需经历两次完整的 LTO 循环，在计算碳排放因子时需计算两次 LTO 阶段碳排放量。

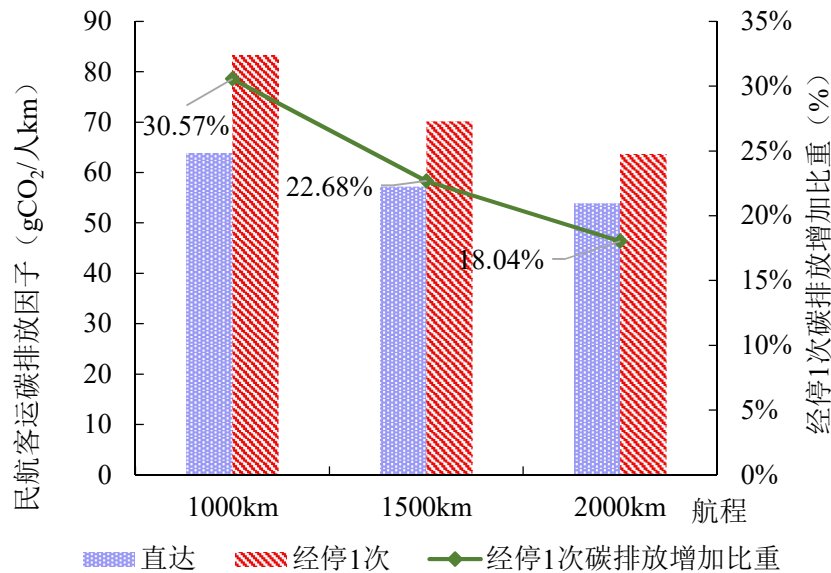


图 4-11 空客 A330 不同经停次数和航程下碳排放因子

如图 4-11 所示，对于重型机空客 A330，经停一次的碳排放因子均显著高于直达航班，当航程从 1000km 增加到 2000km 时，空客 A330 直达的碳排放因子从 63.66 下降到 53.93gCO₂/人 km，经停一次的碳排放因子从 83.12 下降到 63.66gCO₂/人 km。随着航程的增加，经停一次的碳排放因子上升比例逐渐降低，航程越长，碳排放因子上升比例越低。

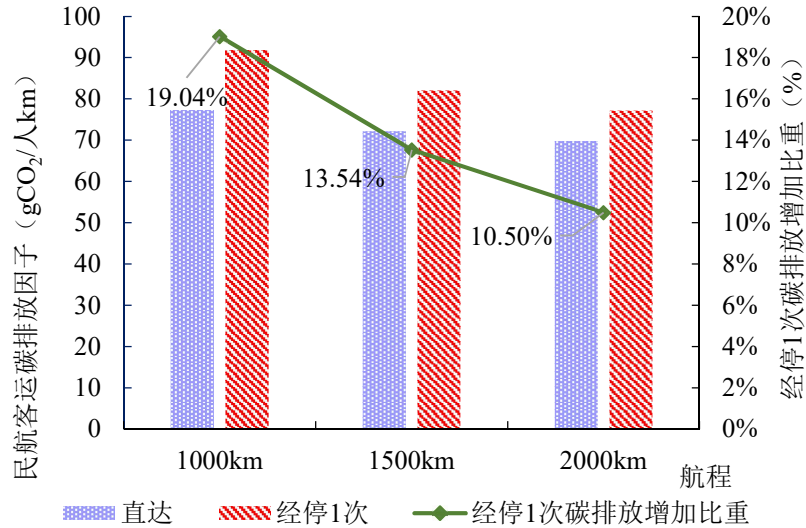


图 4-12 空客 A321 不同经停次数和航程下碳排放因子

对比重型机 A330 和中型机 A321，两种机型经停一次的碳排放因子均高于直达航班，随着航程增大，碳排放因子上升比例均逐渐降低，下降趋势相同。A330 的额定载客量约为 A321 的 1.8 倍，且额定巡航速度高于 A321，因此在同一航程下，A330 的碳排放因子低于 A321。由于重型机 A330 的 LTO 阶段碳排放量较高，A330 的经停一次的碳排放因子上升比例高于 A321。

飞机的客座率也会影响碳排放因子，航班增加经停可能使飞机客座率上升，进而抵消增加起停导致的碳排放量上升。图 4-13 分别是空客 A330 和空客 A321 在直达和经停一次的情况下单程碳排放因子随客座率变化的结果，假设经停一次的客座率为两段同时增加。此处碳排放因子的计算方法与前文一致。

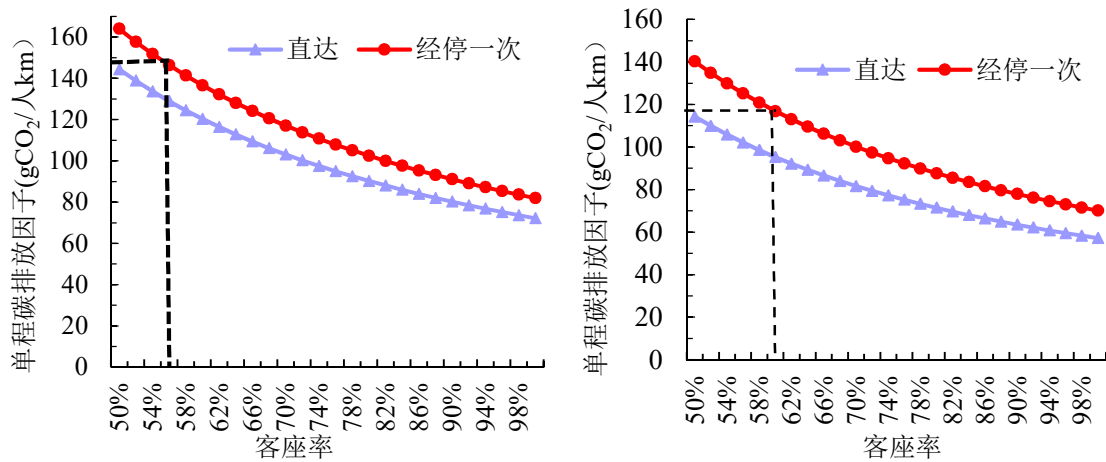


图 4-13 空客 A321（左图）和空客 A330（右图）不同客座率与经停次数下单程碳排放因子

图 4-13 中数据为空客 A321 和空客 330 航程固定在 1500km 的碳排放因子。空客 A321 的直达航班客座率为 50%时，单程碳排放因子 144.5gCO₂/人 km，而经停一次航班达到此排放因子需满足客座率约为 57%，客座率需增长 7%；空客 A330 的直达航班客座率为 50%时，单程碳排放因子约为 114.4gCO₂/人 km，而经停一次航班达到此碳排放因子需满足客座率为 61%左右，客座率需增长 11%。在固定航程的情况下，客座率上升能够有效降低单程碳排放量，客座率的上升可抵消由经停造成的碳排放量上升，大型飞机经停则需要更大幅度的客座率上升，才能保持碳排放因子不变。

图 4-14 为空客 A330 和空客 A321 在维持相同碳排放因子下，在航程为 1000 和 1500km 时经停一次所需客座率对比直达时客座率上升的比例。可以看出，维持碳排放因子不变，经停 1 次较直达所需的客座率提升比例在 5-25%；在航程为 1000km 时，大型机 A330 直达客座率从 50%提升至 70%需经停一次所需客座率上升比例提升 6.49%，而同等条件下，中型机空客 A321 仅需提升 4.29%，这是由于大型飞机 LTO 阶段碳排放量占比较高，所需的客座率上升比例较大；空客 A330 和空客 A321 在航程为 1500km 时的经停一次所需客座率上升比例均明显低于航程为 1000km 时，在长航程中，LTO 阶段碳排放量占比降低，经停对全过程碳排放量的影响减少，所需的客座率上升幅度较低。

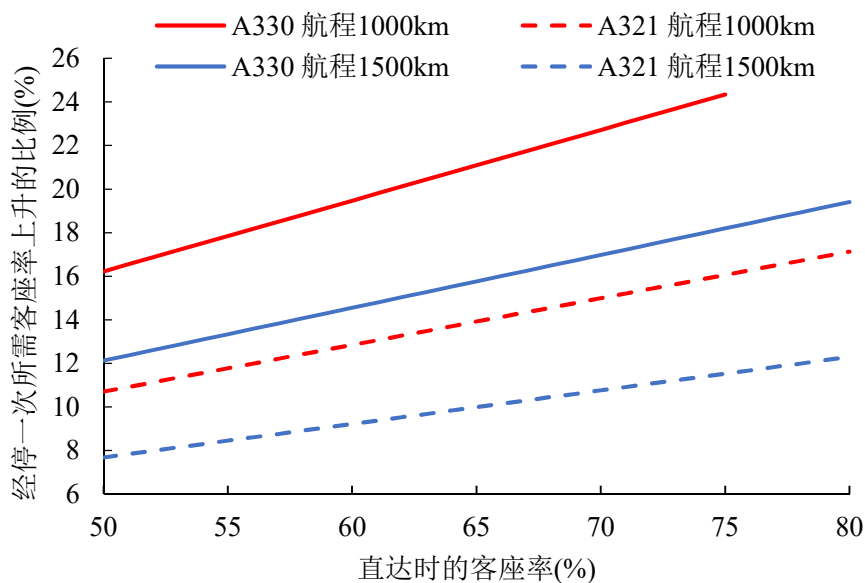


图 4-14 不同机型下经停与航程的民航客运碳排放因子

4.3 本章小结

本章从运输全过程的角度研究高铁与民航的能耗与排放效能，测算并分析了高铁与民航运输全过程及各阶段的碳排放及碳排放因子，主要结论如下：

(1) 铁路能源主要以电力、柴油及燃煤为主，其中电力消耗量最高，2019年铁路电耗占比达65.5%，柴油与煤炭占比分别为23%、2.5%。根据用途划分，铁路能耗细分为牵引能耗与非牵引能耗。研究发现，我国铁路的牵引供电能耗占比为60%，非牵引供电能耗占40%，非牵引电力能耗主要用于站段系统及维修保养系统，其中车站系统占比达65%，养护维修系统占35%。

(2) 高速铁路运输全过程的碳排放包括牵引阶段碳排放、站段系统碳排放及维修保养系统碳排放。根据测算，2019年我国高铁运输全过程的碳排放量达2361万tCO₂，碳排放因子为30.48gCO₂/人公里，其中牵引阶段的高铁碳排放因子为26.27gCO₂/人公里。

(3) 高铁运行主要依赖电力驱动，电力结构是影响高铁碳排放因子的重要因素之一。由于我国的火电占比高，且火电中燃煤发电的比例较高，与法国、德国、日本相比，我国的电力排放因子与高铁碳排放因子相对较高。未来我国需要采取电力清洁化措施减少电力排放，以进一步降低高铁碳排放。除了电力结构外，高铁客座率也对高铁的碳排放因子产生影响，2019年我国的高铁平均客座率为73.6%，高铁运行阶段的碳排放因子为26.27gCO₂/人公里，若不改变发电结构，未来客座率的上升，高铁运行阶段的碳排放因子下降，当客座率上升至90%时，碳排放因子将降低18.22%。

(4) 民航飞机依靠航空煤油提供动力，2019年我国民航飞行过程客运碳排放因子达95.3gCO₂/人公里，较2016年下降14.9%，这一下降得益于我国民航平均上座率及平均运距不断提升，飞机平均机龄下降。由于平均运距、上座率、机型等指标差异，我国民航飞行过程客运碳排放因子低于美国、英国、日本。

(5) 民航运输全过程的碳排放包括航空煤油炼油过程碳排放、飞机飞行活动碳排放及机场非飞行器排放源碳排放三部分。考虑航空煤油炼油过程碳排放，

2019 年民航客运飞行阶段碳排放因子为 $105.5\text{gCO}_2/\text{人 km}$ 。机场非飞行器排放源占民航客运全过程碳排放比例为 1.0%-7.5%，碳排放因子为 $1.1\text{-}7.4\text{gCO}_2/\text{人 km}$ 。因此，民航客运全过程碳排放因子约为 $106.6\text{-}112.9\text{gCO}_2/\text{人 km}$ 。

(6) 航程、客座率、经停次数和机型是影响民航客运碳排放因子的重要因素。研究表明，在其它条件不变的情况下，各机型的碳排放因子随航程的增加而平稳降低。客座率、机型、航程一致时，飞机经停 1 次的碳排放因子显著高于直达航班。然而，飞机经停可吸引客流，提高客座率，客座率提升可减少或者抵消由经停导致的碳排放增加。对于机型越大的飞机，为使经停 1 次的碳排放因子与直达一致，需要更大幅度的客座率提升。

5 我国客运业结构优化策略研究

高铁与民航逐渐发展为我国客运业的重要支撑方式，周转量占比超过 60%。根据有关规划，2035 年前我国还将建成大批高铁线路和机场，基础设施供给快速提升。同时，民航作为长距离快速交通方式，高铁作为中短距离绿色交通方式，如何在双碳背景、客运业持续发展背景下，做好分工协作，提供更好、更便捷的旅客出行服务，最大化节能减排，亟待进一步研究。本章首先分析了我国客运结构存在的问题及产生原因，并基于 2030、2035 年旅客周转量预测结果研究了双碳目标下高铁与民航客运结构改革效果与策略。其次，从票价角度探讨了促进和引导旅客高铁与民航选择行为的票制改革策略，做到让利于民，充分发挥高铁与民航的优势特点。最后从旅客服务水平、节能减排角度研究了支线机场开行经停航班的利弊，并提出了相关政策建议。

5.1 我国客运业结构存在问题分析

高铁的建成运行使得高铁与民航在中短距离和中长距离各自发挥竞争优势，互补关系日益显著。然而西部地区高铁与民航设施密度低，票价票制不合理，衔接公交数量少、效率低，接驳网络欠完善导致的能力利用率低等问题仍然存在。

高铁建成后，民航与高铁在中短距离运输服务方面竞争激烈，民航短距离运输向高铁转移现象凸显，互补关系日益显著。2013-2019 年高铁平均运距在 328-404 公里。同期民航长距离市场占比提升，市场收窄，平均运距由 1509 公里快速上升至 1774 公里。

西部地区高铁与民航设施密度较低，东部地区高铁站点密度远大于西部地区。西部地区高铁建设较落后，西南地区高铁站 15km 覆盖率仅为 5.0%，西北地区仅为 1.8%，远低于东部地区超过 20%的覆盖率。四川、甘肃的高铁线网密度仅为 25.9、33.5km/万 km²，新疆仅开通一条兰新高铁，线网密度为 4.3km/万 km²，而东部地区广东、江苏高铁线网密度分别达到 114.9、206.6 km/万 km²。民航方面，我国机场数前四位的省份中，除内蒙古外，新疆、云南、四川均位于西部地区，但由于西部地区具有地广人稀的特点，西部地区民航站点覆盖面积与东部地

区仍有一定差距。西部地区部分欠发达区域中长距离出行依赖支线机场服务，大量区域缺乏高铁服务，出行便捷性较差，如何充分发挥西部地区高铁与民航既有设施，提高西部地区出行服务水平亟待进一步研究。

西部地区高铁吸引力不足、网络欠完善，中长距离高铁线路开行班次少，线路能力利用率低于东部地区线路，民航承担了大量短距离出行。2023 年疫情恢复后的铁路能力利用率表现出西部地区线路能力利用率偏低的现象。京沪、京广高铁位于东部地区的区段，日开行对数超过 150 对，能力利用率超过 80%。宝兰、贵广等位于西部地区的高铁区段，日开行对数 50 对左右，能力利用率低于 50%，南昆、银西高铁，日开行对数仅为 32，能力利用率为 27%。高铁线路运营需要场段设施支持，线路利用率未被充分利用，列车上座率低，导致能源浪费。

此外，西部地区民航承担的中长距离和短距离运输量大，高铁优势未能充分发挥，存在协调优化空间。例如，2023 年东部地区上海-厦门，每日开行 22 班航班和 21 对高铁列车，而西部地区成都-合肥，每日开行 15 班航班和 10 对高铁列车，西安-广州每日开行 20 班航班和 8 对高铁列车。短距离出行角度，由于西部地区高铁建设密度仍然低于全国平均水平，大量短距离出行由民航承担。2010 年全国民航 600km 以下主要航段的旅客运输量占比为 16.0%，2015 年下降至 10.9%，2019 年为 8.3%，这体现了高铁投产后交通结构的变化。然而，西部地区 600km 以下主要航段旅客运输量占比仍居高不下，2015、2019 年占比高达 57.4%、49.9%。

西部地区高铁班次较少，间接导致周边公交建设水平较低，进一步加大了吸引力不足的问题。西部地区非省会城市高铁站、机场衔接交通线路数量远低于东部地区部分城市，东部高铁站如宁波站、日照西站衔接公交线路数量达到 44、28 条，而西部高铁站如宜宾西站、广元站衔接公交数量低于 15 条。有限的公交衔接线路，易导致旅客在城市内需多次换乘才能到达高铁站、机场，或使得旅客转而选择乘出租车等衔接交通方式，增加出行费用。此外，东部地区机场设有多条长途客运班线，以辐射周边县市，如温州龙湾机场设客运班线 15 条，连接了周边温岭市、青田县等地区，西部地区机场则缺乏长途客运班线的配置。

综上，高铁与民航互补关系日益凸显，高铁对民航短距离运输的替代性强，而我国部分地区高铁发展落后，高铁吸引力亟待提升，客运结构存在优化空间。因此应积极推进高铁与民航供给侧改革，释放高铁低碳优势，发挥民航长距离服务优势，提升欠发达地区的出行服务水平，助力落实交通碳达峰、交通强国战略。

5.2 双碳目标下发挥高铁与民航优势的客运结构改革策略

本节基于人口指标预测未来 2030 年、2035 年我国的城际间客运交通需求规模，结合各交通方式的碳排放因子测算未来不同情景下我国客运交通的碳排放量，同时分析双碳目标下高铁与民航合理化客运结构对碳减排的影响。

5.2.1 民航与高铁客运市场需求预测

既有研究表明，旅客运输需求受人口规模的影响最大^[9]2000-2021 年以来，我国单位人口旅客周转量变化趋势如图 5-1 所示，可以看出，我国单位人口产生的旅客周转量与全方式旅客周转量（全方式只包括公路、铁路与民航，其中公路不含小汽车、民航不含国际）呈正相关性，因此采用单位人口产生的旅客周转量来估算全方式旅客周转量是合理的。

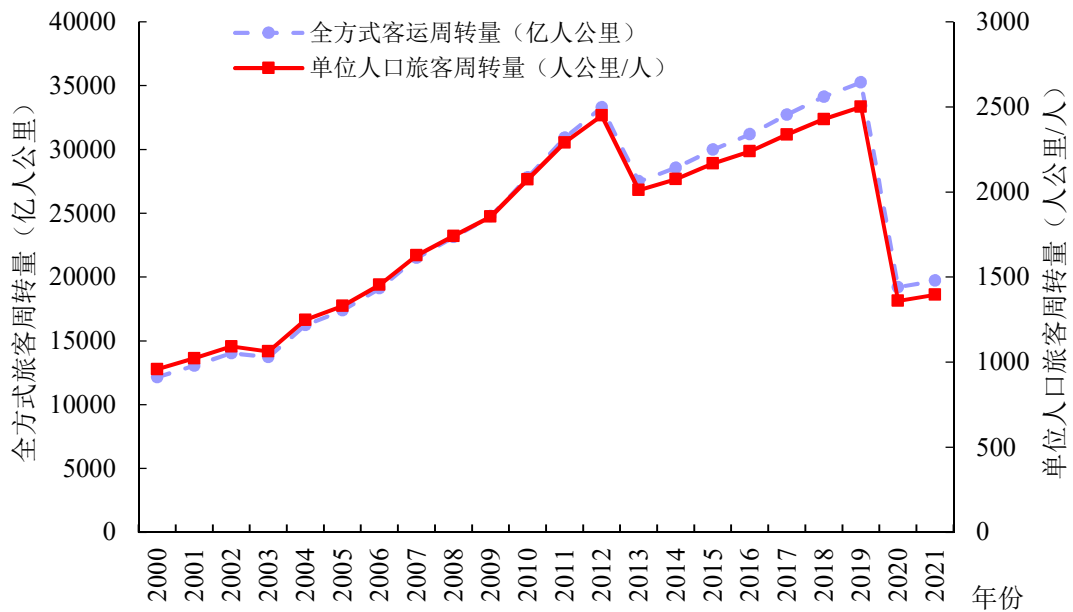


图 5-1 2000-2021 年我国单位人口产生的旅客周转量变化趋势

由于统计口径发生变化，2013 年我国全方式旅客周转量显著下降，单位人口产生的旅客周转量下降至 2011.6 人公里/人。2019 年末新冠疫情爆发，我国交通运输客运规模受到显著影响，2021 年完成全方式旅客周转量约 2.0 万亿人公里，较上年增长 2.64%，未来我国的客运规模将稳步恢复疫情前水平。

不同国家的单位人口旅客周转量均呈现先上升、后稳定的发展趋势。根据美国、英国、日本的旅客周转量^{[10][11][12]}及人口数据^[13]测算，2010-2019 年美国单位人口旅客周转量年增长率约 0.1%-2.0%，英国年增长率大致在 0.0%-2.0%，日本年增长率大致在-1.0%-3.5%，说明对某一国家或经济体来说，随着经济发展和城镇化率趋于平稳，旅客出行需求趋于稳定，客运需求增速将与人口增速相匹配。我国正处在多种交通运输方式快速发展时期，区域综合性交通网络正在不断发展和完善。未来较长时期内我国人口众多的基本国情不会发生变化，随着区域交通发展整体效率和综合效益的提升，我国客运需求将会有所增长。

为分析全方式旅客周转量发展趋势，本项目采用类比国外发达国家交通运输发展历史趋势，基于人口指标产生的旅客周转量发展趋势预测未来年客运需求规模。2010-2019 年我国人口增长率由 20.6%逐渐下降至 0.3%，由此可看出我国人口增长趋势稳步放缓。2019 年，联合国人口司发布的《World Population Prospects2019. VolumeII》认为：2020-2025、2025-2030、2030-2035 年我国的人口增速分别为 1%~2.6%、-1.4%~0.9%、-3.2%~-0.5%、由此预测我国 2030、2035 年的人口数分别为 14.64、14.61 亿人。

2019 年我国全方式旅客周转量约 3.5 万亿人公里，单位人口旅客周转量为 2501.2 人公里/人。根据上述经验数据，考虑未来我国人口及客运发展情况，预测我国 2019-2030、2030-2035 年单位人口旅客周转量年均增长率分别为 2.0%、1.6%，由此计算 2030 年、2035 年我国方式旅客周转量分别为 4.55、4.92 万亿人公里。

表 5-1 整理汇总了其他学者有关我国 2030-2035 年客运需求规模预测数据，可以看出：2030、2035 年我国全方式旅客周转量分别为 4.5-6.2、4.9-6.8 万亿人公里，由此看出，本项目预测未来年旅客周转量规模在合理范围之内。

表 5-1 2030-2035 年我国旅客周转量规模预测（万亿人公里）

来源	预测年份	全方式旅客 周转量	铁路旅客 周转量	高铁旅客 周转量	民航旅客周 转量
文献[14]	2030	5.13	1.86-1.98	-	1.97-2.08
文献[15]	2030	4.5	2.3	-	1.5
	2035	4.90-5.10	2.54-2.63	-	1.57-1.67
文献[16]	2030	5.60-6.21	2.31-2.52	-	1.52-1.75
	2035	6.10-6.75	2.49-2.73	-	1.68-1.92
文献[17]	2030	-	-	1.23-1.99	-
	2035	-	-	1.31-2.37	-
文献[18]	2035	-	-	-	2.01
本项目	2030	4.55	-	-	-
	2035	4.92	-	-	-

5.2.2 不同情景下民航与高铁对应的碳排放效果研究

既有文献关于我国 2030、2035 年高速铁路与民航客运市场需求预测成果丰富。从表 5-1 可以看出既有研究中 2035 年我国高铁、民航旅客周转量分别约为 1.3-2.4、1.6-2.0 万亿人公里，在项目组预测旅客周转量规模中占比达 26.4%-48.8%、32.5%-40.7%。未来高铁与民航将承担更大比例的城际出行服务。

2019 年我国普速铁路、高速铁路、营运性公路、民航四种城际间公共交通方式承担的旅客周转量为 3.53 万亿人公里。本项目预测 2030 年、2035 年我国全方式旅客周转量将持续增长至 4.55、4.92 万亿人公里。在此背景下，高铁与民航周转量增长及结构变化将对我国城际间公共客运方式实现碳达峰产生显著影响。

根据电力的排放因子和单位周转量的电力消耗，计算得出了我国 2019 年高铁的碳排放因子为 26.27gCO₂/人 km。国务院印发的《2030 年前碳达峰行动方案》中指出 2030 年铁路运输综合能耗比下降 10%。同时，结合 EIA 对未来我国电力结构的预测数据，测算得出 2030 年和 2035 年我国高铁碳排放因子分别为 17.9 和 16.6gCO₂/人 km。根据项目组测算我国 2019 年民航客运碳排放因子为 105.5gCO₂/人 km。吕晨^[19]提到 2030 年民航营运交通工具单位换算周转量碳排放强度比 2020 年下降 9.5%左右，假设 2020 年民航客运碳排放因子与 2019 年相同，计算得到 2030 年民航客运碳排放因子为 95.5gCO₂/人 km。张晔^[20]预测 2035 年

我国民航客运碳排放因子较 2019 年下降约 15%。2019 年普速铁路与公路碳排放因子选取 Yu K M^[21]和吕晨^[22]的研究成果，分别为 11.0gCO₂/人 km、48.1gCO₂/人 km，张晔^[20]、黄志辉^[23]分别预测 2030、2035 公路、普速铁路客运碳排放因子较 2019 年下降 10%、15%。2030、2035 年的高铁与民航客运碳排放因子预测结果如表 5-2 所示。

表 5-2 高铁与民航客运碳排放因子

交通方式	2019	2030	2035
普速铁路碳排放因子 (gCO ₂ /人 km)	11.0	9.9	9.4
高速铁路碳排放因子 (gCO ₂ /人 km)	26.3	17.9	16.6
公路碳排放因子 (gCO ₂ /人 km)	48.1	43.5	40.9
民航碳排放因子 (gCO ₂ /人 km)	105.5	95.5	89.3

本节以疫情前 2019 年的实际周转量结构作为基准情景，在高铁与民航不同增速背景下分析高铁与民航结构转型对碳排放量的影响。现设定表 5-3 所示 2030、2035 年我国不同客运需求下高铁与民航出行方式结构情景。

表 5-3 我国 2030、2035 年高铁与民航出行方式结构情景

	情景	普铁	高铁	公路	民航	碳排放量(亿 t)
2030	基准情景	19.7%	22.0%	25.1%	33.2%	2.21
	情景 1: 高铁周转量年均增速 3.0% 民航周转量年均增速 2.0%	19.4%	23.6%	25.1%	32.0%	2.17
	情景 2: 高铁周转量年均增速 4.0% 民航周转量年均增速 1.5%	18.4%	26.2%	25.1%	30.3%	2.11
	情景 3: 高铁周转量年均增速 5.0% 民航周转量年均增速 1.0%	17.1%	29.1%	25.1%	28.7%	2.06
2035	基准情景	19.7%	22.0%	25.1%	33.2%	2.23
	情景 1: 高铁周转量年均增速 2.8% 民航周转量年均增速 1.8%	18.7%	24.5%	25.1%	31.7%	2.18
	情景 2: 高铁周转量年均增速 3.8% 民航周转量年均增速 1.4%	16.6%	28.6%	25.1%	29.7%	2.12
	情景 3: 高铁周转量年均增速 4.8% 民航周转量年均增速 0.8%	14.5%	33.3%	25.1%	27.0%	2.03

2010-2019 年高铁与民航周转量增速分别为 36.8%、12.6%，高铁增速快于民航。2035 年前我国将建成 7 万公里高铁网络，高铁将继续保持较高的增长速度。因此，情景 1-情景 3 设置了高铁与民航不同增速背景下，客运结构的变化趋势，其中普速铁路保持向高铁转移的趋势。情景 1 为高铁与民航 2030、2035 年平稳增长情景，民航增速保持在旅客周转量增速水平。情景 2 为高铁中速增长，民航增速放缓情景，民航结构向高铁转移，2030 年转移 2.9%，2035 年转移 3.5%。情景 3 为高铁高速增长，民航低速增长情景，2030 年民航向高铁结构转移 4.5%，2035 年转移 6.2%。

根据 2030、2035 年不同情景下高铁、民航、普速铁路与公路的出行分担率和各交通方式的客运碳排放因子数据，测算出 2030、2035 年不同情景下的各交通方式出行结构对应的客运交通碳排放总量，如图 5-2 所示。

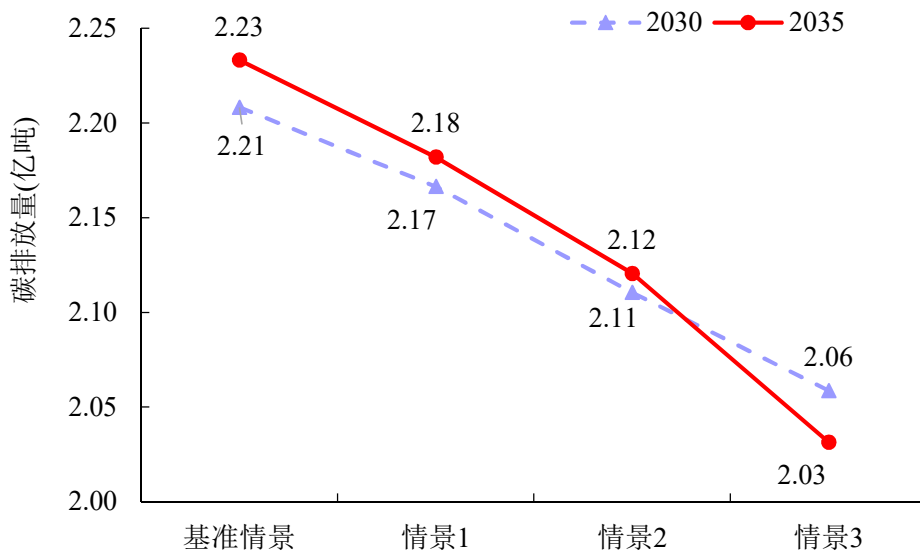


图 5-2 不同情景下客运交通碳排放量总量

根据图 5-2，可以看出在情景 1、情景 2 和情景 3 下，客运碳排放总量相对于基准情景呈现出不断降低的趋势。然而，在情景 1 和情景 2 下，2035 年全方式客运碳排放量却高于 2030 年，说明在这两种情景下，我国客运交通在 2035 年前仍未实现碳达峰的目标。在情景 3 中，2035 年的全方式客运碳排放量却低于 2030 年，这表明我国客运交通的碳达峰时间介于 2030 年和 2035 年之间，在

高铁增速远大于民航的情况下，我国客运交通有机会在 2035 年实现碳达峰。

我国客运交通的碳排放因子呈现民航 \geq 公路 \geq 高铁 \geq 普速铁路的规律。在 2030 年的情景中，相较于基准情景，情景 1 中普速铁路向高铁转移了 0.4%，民航向高铁转移了 1.2%；情景 2 中普速铁路向高铁转移了 1.3%，民航向高铁转移了 2.9%；情景 3 中普速铁路向高铁转移了 2.6%，民航向高铁转移了 4.5%。结合图 5-2 可发现，随着普铁与民航的结构转向高铁，客运交通的碳排放总量不断下降。

假设 2035 年普速铁路与公路的客运结构与 2019 年相同，不同的民航向高铁转移量下，客运交通碳排放量的变化情况如图 5-3 所示。随着民航向高铁转移的比例逐渐增加，客运交通碳排放量不断下降。当转移百分比达到 10% 时，客运交通碳排放总量为 1.88 亿吨，较 2035 年的基准情景下降了 16%，并且碳排放总量低于 2019 年的客运交通碳排放总量（1.94 亿吨）。在这种情况下，我国的客运交通能够在 2035 年前实现碳达峰，由此说明促进民航向高铁转移是有效降低客运交通碳排放量的措施之一。

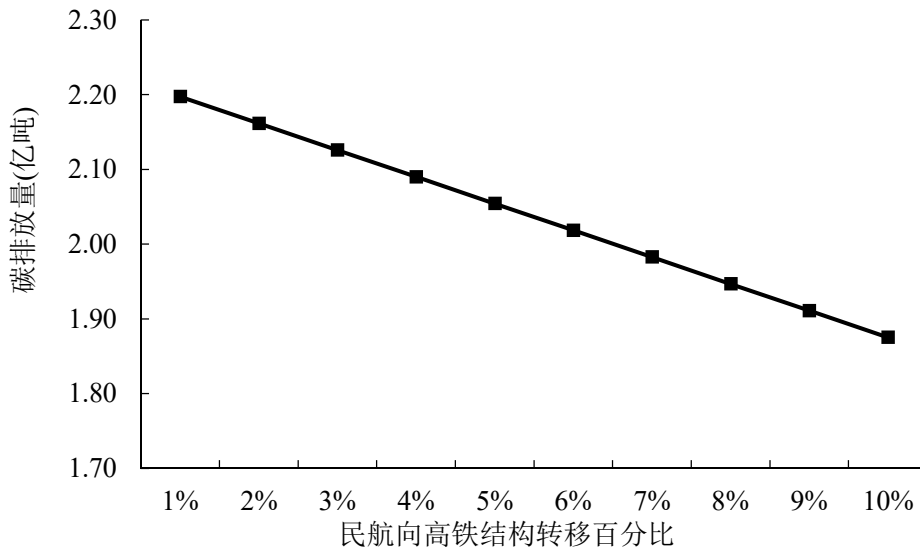


图 5-3 民航向高铁结构转移百分比下客运交通碳排放量

随着民航结构向高铁的转变，高铁的客运市场面将放大，而民航客运市场进一步收窄，从而引起民航客运平均运距增加。设定 2035 年普速铁路与公路的客运结构与 2019 年相同，在民航向高铁转移比例为 5% 的情况下，研究民航平均运距上升对客运交通碳排放量的影响，结果如图 5-4 所示。

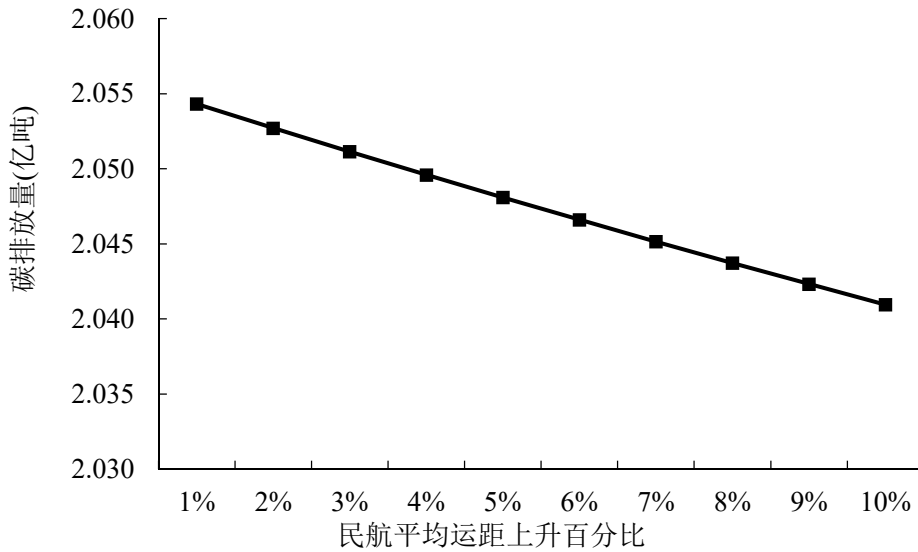


图 5-4 民航平均运距上升对客运交通碳排放量的影响

注：民航运距与碳排放因子的关系，按照 800km 航程下 LTO 碳排放量占比 25%计算。

从图 5-4 可看出，随着民航平均运距上升，我国客运交通碳排放总量呈下降趋势，当民航平均运距上升 10%后，我国客运交通碳排放量为 2.04 吨，较平均运距未发生变化时下降了 0.74%，这是因为随着民航平均运距的增加，民航的碳排放因子也下降，从而导致客运交通碳排放量减少。

5.2.3 双碳战略下发挥高铁与民航优势、优化区域综合交通结构的建议

双碳战略下高铁与民航需要分别发挥服务中短距离和中长距离旅客的优势，发挥民航在高铁欠发达西部地区的对外交通服务功能，发挥高铁的低碳节能优势，做好区域交通结构优化，并积极引进和改革节能减排技术，在更好服务旅客出行的基础上，助力实现“双碳”战略目标。为此，本文提出以下建议：

(1) 发挥高铁与民航优势，提高既有设施利用率。

我国西部地区高铁线路及部分支线机场航线存在能力利用率低的问题，服务的旅客数量远小于线路、航线和站场的设计能力。然而，为保证正常运行，站场、线路等基础设施仍然产生大量能源消耗。高铁和民航作为周转量占比最大的城际间客运方式，如何有效发挥各自的服务距离优势，充分利用场站、线路资源，提高既有设施利用率是未来两种客运方式合作共赢的重点内容。具体提出如下建议：

为适应西部地区地广人稀特点，应建立以“空铁联运”为核心的中长距离客运服务。西部地区高铁建设成本较高，部分区域高铁短期内难以覆盖，依赖支线机场提供服务，这要求高铁与民航加强合作以提供中长距离运输服务。目前，部分西部省会城市开通了直达周边县市的城际列车，如成都市域铁路、贵开城际铁路等。建设以省会为中心的城市群“空铁联运”服务，充分发挥高铁短距离运输效率的同时，使枢纽机场惠及更大区域的旅客。从运营角度，制定时刻表互补的高铁列车和航班，做好客流需求预测，调整运营服务策略，适应区域客流特征；提供高效快捷的高铁站、机场接驳公交系统，以及空铁联运售票系统。

中短距离以高铁运输为主，民航运输为辅。民航缩减短途航线规模，优化航线组织。高铁应积极加强周边接续效率，推出符合西部地区经济水平的票价体系，充分发挥高铁在中短距离的便捷性、经济性优势，研判西部地区客运需求，欠发达地区高速铁路可以适当增加中短途列车的经停站点数，充分提高线路上座率及可达性，服务更大范围的旅客。《国务院关于促进民航业发展的若干意见》提出，要加强干线、支线衔接和支线间的连接，提高中小机场的通达性和利用率。在高铁尚未覆盖的区域，强化支线机场之间以及支线机场与枢纽机场之间的联系，引进低成本航空公司，形成轴辐式、蜘蛛网式、串联式等航线网络。充分发挥低成本航空公司的大运量、票价低和灵活性强等优势，提高民航运输方式市场竞争力。

（2）做好高铁站与机场周边交通衔接组织，提高高铁与民航服务的市场覆盖范围。

支线机场及欠发达地区高铁站与机场周边接续条件较差，旅客接续时间和费用居高不下。部分高铁站、机场供给班次较少，不少旅客将选择出租车、自驾等方式接续，间接阻碍了接续交通的运营发展。改善接续条件，建立一体化交通接续服务，降低旅客出行全过程时间及费用，能够有效推动乘客选择高铁和民航出行，提高既有设施利用率和高铁与民航服务辐射力。

高铁站、机场周边，应规划建设多方式、立体、集约的一体化接续设施。公交、轨道交通与高铁站、机场有机融合，大型枢纽可试点高铁、城市轨道交通并线布置，公交换乘站点设置于枢纽建筑内或地下等集约化、一体化的接驳形式。

场站周边建设高架快速路实现站点区域过境交通与到发交通分离，站点地区交通量分散至外围路网，提高到发公交、小汽车的接驳效率。站区周边布局临时停车场和长期停车场，实现 K&R（临时停靠接送）和 P&R（停车换乘）功能分离。

高铁周边应提供多层次公交网络，积极引入公交专线、长途班车、快速公交系统，逐步建成城市公交枢纽。在客流条件和接续尚未成熟的站点，开行定点、定线的高铁专线巴士，接续城市核心吸引点，适当推行定制公交服务，提供灵活线路接驳服务，提高高铁方式的吸引力，实现良性循环。在客流量达到一定水平后，引入轨道交通、BRT 等快速公交系统，建立多种交通方式并存的公交枢纽，进一步提升高铁站点的辐射范围。西部地区高铁密度较低，高铁站应着重引入长途班车，班车进站，做到班车高铁无缝衔接，使高铁服务能够惠及更大范围县市的居民。

支线机场周边，应采取枢纽直通车、城区巴士、接驳车等模式，搭建枢纽之间的“软联通”。有条件的机场，积极引入轨道交通和高速公路，或建设以城市快速路为骨干的集疏运交通。可设置需求响应、线路灵活的接驳公交系统，改善目前西部地区机场大巴线路少，服务单一的局面。

（3）加快高铁与民航技术进步，降低运输碳排放因子。

加快电力清洁化，调整发电结构，可以降低高铁碳排放因子，从而减少二氧化碳排放量。2006-2020 年电力行业累计减少二氧化碳排放量约 185.3 亿 t。其中，非化石能源替代贡献率为 62%，降低煤耗贡献率为 36%，有效减缓了电力二氧化碳排放总量的增长^[24]。国务院印发的《2030 年前碳达峰行动方案》提出到 2030 年时国家铁路单位换算周转量综合能耗比 2020 年下降 10%，结合 EIA 公布的 2030、2035 年发电结构预测值，当火电占比大幅下降，太阳能、核能发电占比提升时，测算出 2030、2035 年我国高铁运行阶段碳排放因子分别为 17.9gCO₂/人公里、16.6gCO₂/人公里，较 2019 年（26.27gCO₂/人公里）分别下降 31.9%、36.8%。可以看出，发电结构调整能较大程度降低高铁牵引运行阶段碳排放因子。推动清洁电力结构发展，降低煤电比重，推广清洁能源发电，促进电力结构低碳化，能更好地凸显高铁交通节能减碳特性。

应用可行的航空低碳技术可以有效降低民航碳排放因子,比如长期使用可持续航空燃料、提升终端燃油产品能效、提高机场运行电动化智能化水平等措施。刘洪铭^[25]认为从目前的技术情况出发,短期内或可实现短途旅行使用电气化或氢能储能设备,但受技术限制,现阶段无法制造长途国际旅行所需的超大容量电池。《2030年前碳达峰行动方案》提到现阶段减少民航碳排放因子的方案是大力推进先进生物液体燃料、可持续航空燃料等替代传统燃油,提升终端燃油产品能效。随着以微藻为原料的第三代燃料乙醇技术发展,可持续航空燃料在2030年之后可能对航煤形成一定替代规模^[26]。长期来看,加强航空节能产品的自主创新和研发,积极研发新型低油耗发动机、新能源航空器、使用多元化绿色能源或将在2060年承担起降低碳排放因子的责任^[27]。

5.3 高速铁路与民航票价水平优化策略

本节首先分析高铁与民航运价率水平的区域特征,其次对比二者的运价率特征,对比民航折扣票价与高铁票价的竞争力,最后从市场化角度提出高铁票价票制改革策略。

5.3.1 高速铁路与民航运价率水平的区域特征分析

(1) 高速铁路运价率的区域特征分析

我国高铁建设具有明显的“东密西疏”的特点,东部地区高铁线路的盈利能力也远高于西部地区,据统计,目前我国能够盈利的高铁有京沪、沪宁、宁杭、广深港、沪杭、京津等,大多为东部地区的线路,其他线路均处于亏损状态。导致这种局面的原因是地形条件、东西部人口疏密度及经济发展水平的差异。在此背景下,我国高铁票价定价机制的弹性较差,运价率与区域经济发展不匹配,导致线路日常运营存在上座率较低、线路能力未得到充分利用等问题。

表 5-4 给出了 2021 年我国不同区域部分省份的居民人均可支配收入和对应的高铁线路平均运价率,其中运价率根据该区域高铁站为出发点的 30~50 对 OD 的票价及各 OD 间线路长度计算得到。根据《中国统计年鉴 2022》公布的 2021 年全国平均居民人均可支配收入为 35128 元。

表 5-4 2021 年部分省份人均可支配收入与该地区高铁线路平均运价率统计

省份	人均可支配收入(元)	该省份人均可支配收入/全国平均人均可支配收入	线路平均运价率(元/km)		
			二等座	一等座	商务座
广东省	44993	1.28	0.43	0.69	1.35
山东省	35705	1.02	0.42	0.68	1.33
辽宁省	35112	1.00	0.43	0.70	1.32
河南省	26811	0.76	0.44	0.70	1.33
云南省	25666	0.73	0.44	0.72	1.29
甘肃省	22066	0.63	0.40	0.63	1.23

可以看出,如西部地区甘肃省、云南省,中部地区河南省,全年人均可支配收入仅有 22000~27000 元,为全国平均水平的 60%~75%;东部地区如山东省、广东省的人均可支配收入为 35705、44993 元,均超过全国平均水平,其中广东省比全国平均值高出 28%。纵观各省份中线路平均运价率,以二等座为例,不同区域省份的线路平均运价率基本处于 0.4~0.45 元/km 之间,差距较小,人均可支配收入水平差距最大的甘肃省和广东省,其线路平均运价率的差值小于 0.05 元/km;经济水平较低的云南省,线路二等座平均运价率高于经济相对发达的辽宁省。现阶段高铁的票制票价策略基本全国统一,对欠发达地区居民的吸引力较低,因此有必要进行客运市场化改革,实施更具弹性的票制票价机制,给予中西部区域更为优惠的票价以诱导旅客产生高铁出行需求,提高上座率,减少线路能力浪费,促进中西部地区高铁可持续发展。

(2) 民航运价率的区域特征分析

根据《2021 年全国民用运输机场生产统计公报》,2021 年我国年旅客吞吐量 200 万人次以下的运输机场有 187 个,完成旅客吞吐量占全部境内运输机场旅客吞吐量的 10.7%。由于民航航线大多为跨省线路,区域特征不显著,本节主要分析干线及枢纽机场和支线机场的运价率特征。干线及枢纽机场主要建设于各省省会、经济水平较高的城市等,支线机场主要服务于经济实力较弱、人口较少的区域。为了保证企业收益,航空公司实施差异化票价,对客流量较大的机场,上座率较高的航线实施较低的票价以吸引客流,客流较小的支线机场,上座率较低的航线,则提高票价以保证收益。整理我国各区域典型省份辽宁、山东、河南、广

东、甘肃及云南的典型机场、典型航线的经济舱运价率信息。其中共计包含干线及枢纽机场 12 个，干线及枢纽机场航线 169 条，支线机场 10 个，支线机场航线 49 条。部分典型航线及其折扣后的运价率如下表 5-5 所示。

表 5-5 案例省份典型干线、枢纽和支线线路运价率

起点机场类型	省份	起讫点	折扣价格(元)	折扣率	非折扣价格(元)	燃油机建费(元)	OD 间直线距离(km)	折后运价率(元/km)
干线及枢纽	辽宁	沈阳桃仙国际机场-北京大兴国际机场	440	31%	1419	110	642	0.857
		沈阳桃仙国际机场-上海虹桥国际机场	730	33%	2212	170	1176	0.765
	山东	济南遥墙国际机场-上海虹桥机场	390	28%	1393	170	735	0.762
		济南遥墙国际机场-深圳宝安机场	700	27%	2593	170	1615	0.539
		临沂启阳机场-上海浦东机场	396	27%	921	110	792	0.943
		临沂启阳机场-深圳宝安机场	1480	21%	1721	170	1241	1.137
	河南	郑州新郑国际机场-上海虹桥国际机场	450	19%	1667	170	1818	0.783
		郑州新郑国际机场-广州白云国际机场	350	19%	1667	170	1241	0.419
	广东	广州白云机场-北京大兴国际机场	518	25%	2726	170	2035	0.378
		广州白云机场-福州长乐国际机场	320	14%	1684	170	1317	0.395
		珠海金湾机场-北京首都机场	600	12%	2400	170	1356	0.378
		珠海金湾机场-上海浦东国际机场	240	45%	1714	170	2078	0.311
	甘肃	兰州中川机场-北京大兴国际机场	269	38%	2242	170	2097	0.324
		兰州中川机场-广州白云国际机场	1090	24%	2422	170	1820	0.606
	云南	昆明长水国际机场-北京大兴国际机场	1170	60%	3079	170	575	0.639
		昆明长水国际机场-杭州萧山国际机场	550	99%	2292	170	1110	0.396

支线	辽宁	鞍山腾鳌机场-北京大兴国际机场	420	43%	700	110	536	0.921
		鞍山腾鳌机场-上海浦东国际机场	1420	86%	1434	170	1452	1.433
	河南	信阳明港机场-上海浦东国际机场	458	46%	996	170	747	0.841
		信阳明港机场-北京大兴机场	198	20%	990	170	830	0.443
	甘肃	陇南成县机场-青岛胶东国际机场	1140	71%	1606	170	1545	0.848
		陇南成县机场-西安咸阳国际机场	710	71%	1000	110	381	2.152
	云南	大理机场-重庆江北国际机场	600	50%	1200	170	750	1.027
		大理机场-北京首都国际机场	1170	45%	2600	170	2178	0.615

由表 5-5 可以看出，干线及枢纽机场运价率普遍略低于支线机场。案例航线中，仅临沂启阳机场-深圳宝安机场的航线运价率超过 1.0 元/km，而支线机场 8 个案例航线中，仅 3 条航线运价率超过 1.0 元/km，陇南成县机场-西安咸阳国际机场的航线运价率超过 2.1 元/km。为了更准确分析干线及枢纽机场和支线机场运价率的差异，统计 169 条干线、枢纽航线和 49 条支线航线的运价率分布，如下表 5-6 所示。

表 5-6 典型省份干线、枢纽及支线机场部分线路运价率分布对比

运价率范围 (元/km)	干线、枢纽机场		支线机场	
	频数	占比	频数	占比
0.2~0.4	21	12.4%	0	0.0%
0.4~0.6	57	33.7%	11	22.4%
0.6~0.8	38	22.5%	15	30.6%
0.8~1.0	25	14.8%	12	24.5%
1.0~1.2	14	8.3%	5	10.2%
1.2~1.4	1	0.6%	0	0.0%
1.4~1.6	2	1.2%	3	6.1%
1.6~1.8	3	1.8%	1	2.0%
1.8~2.0	2	1.2%	0	0.0%
2.0 以上	6	3.6%	2	4.1%
合计	169	100%	49	100%

由表 5-6 可以看出, 干线、枢纽机场运价率相对更低。干线、枢纽机场运价率主要分布于 0.2~1.0 元/km, 占比达到 83.4%, 而支线机场运价率主要分布于 0.4~1.2 元/km, 占比达到 87.8%。其中, 干线、枢纽机场运价率分布于 0.4~0.6 元/km 的比例最大, 支线机场分布于 0.6~0.8 元/km 的比例最大。经计算, 169 条干线、枢纽航线的平均运价率为 0.754 元/km, 49 条支线航线的平均运价率为 0.896 元/km。

支线机场是我国经济欠发达地区或人口较稀疏地区的重要交通设施, 其运价率目前相对较高, 与区域经济发展水平和人均收入水平不匹配。未来我国将进一步加大支线机场的建设力度, 如何优化支线航线的票价设置, 引导支线机场良性发展, 是充分发挥支线机场输运功能的重要抓手。

5.3.2 高速铁路与民航运价率水平对比分析

费用是影响旅客出行方式选择的关键因素之一。高铁与民航在不同运距的运价率上存在差异, 直接影响了高铁与民航的优势距离划分。此外, 由于民航存在大量的优惠票, 在高铁与民航的价格竞争中发挥着重要作用。本节以辽宁、山东、河南等六个省份的高铁、民航站点出发的列车与航班为例, 分析 2022 年高铁与民航运价率的现状。在现有数据的基础上, 探讨高铁、民航运价率与运距的关系, 进一步探索民航折扣率在高铁与民航价格竞争中的作用。

高铁运价率的计算方法为不同座位等级票价与起讫点间距离相除。高铁的出行费用参考 12306 售票信息, 统计各 OD 间高铁出行票价 (主要为 G 字头列车, 包括部分 D 字头列车和 C 字头列车)。若存在中转换乘情况, 则将多车次同座位等级的票价相加。起讫点距离取自欣欣旅游网里程数据, 部分缺失数据采用百度百科线路里程计算所得。典型高铁线路出行费用如下表 5-7 所示。

表 5-7 典型高铁线路出行费用

省份	起讫点	起讫点 城市间 距离 (km)	二等座 价格 (元)	一等座 价格 (元)	商务座 价格 (元)	二等座 运价率 (元 /km)	一等座 运价率 (元 /km)	商务座 运价率 (元 /km)
辽宁	沈阳南-北京南	630.4	303.5	497	942.5	0.35	0.57	1.08
	沈阳-北京南	627.7	294.5	482.5	913.5	0.37	0.61	1.16
	沈阳北-上海虹 桥	1196.2	866	1441	2970.5	0.46	0.76	1.58
	沈阳南-上海虹 桥	1180	794.5	1359.5	2654.5	0.42	0.72	1.40
	沈阳北-杭州东	1317.1	939	1558	3190	0.51	0.84	1.73
	沈阳北-西安北	1511.3	826	1330.5	2587	0.44	0.70	1.36
	大连北-北京	455.6	388	620	1251	0.44	0.71	1.43
	大连北-西安北	1240.4	871	1402.5	2728.5	0.42	0.68	1.32
山东	济南西-哈尔滨 西	1288.90	627.50	1023.50	1988.50	0.42	0.68	1.32
	济南西-上海虹 桥	732.80	400.00	672.00	1560.00	0.44	0.74	1.71
	济南西-贵阳北	1475.80	952.50	1561.50	3085.50	0.48	0.78	1.54
	济南西-西安北	763.40	519.00	832.50	1623.00	0.44	0.71	1.39
	济南西-厦门北	1342.90	712.00	1192.00	2327.50	0.43	0.72	1.41
	济南西-昆明南	1871.60	1136.50	1870.50	3665.00	0.42	0.69	1.35
	济南西-成都东	1356.10	782.00	1253.50	2412.00	0.43	0.69	1.32
	济南西-南宁东	1739.70	959.50	1546.50	3024.00	0.39	0.64	1.24
济南西-深圳北	1587.60	1001.00	1580.50	3119.00	0.48	0.75	1.48	
河南	郑州东-青岛北	618.5	349.5	557.5	1116	0.34	0.54	1.09
	郑州东-杭州东	782.3	474	765.5	1434.5	0.50	0.81	1.51
	郑州东-上海虹 桥	808.0	467	758	1435	0.47	0.77	1.46
	郑州东-宁波	910.5	566.5	920	1738.5	0.51	0.83	1.58
	郑州东-成都东	1012.2	502	803.5	1544	0.43	0.68	1.31
	郑州东-福州	1099.3	591	978	1834.5	0.40	0.66	1.24
	郑州东-广州南	1311.3	679	1086	2139	0.42	0.68	1.33
	洛阳龙门-北京 西	682.1	400	640	1258	0.48	0.77	1.50
广东	广州南-北京西	1903.91	914.50	1464.50	3041.50	0.40	0.64	1.32
	广州南-郑州东	1311.17	679.00	1086.00	2139.00	0.42	0.68	1.33

	广州南-西安北	1335.95	838.50	1341.50	2642.50	0.40	0.63	1.25
	广州南-重庆西	944.97	455.00	728.00	1365.00	0.38	0.61	1.14
	广州南-南昌西	676.32	472.00	768.50	1491.00	0.45	0.73	1.42
	广州南-南宁东	498.11	208.00	333.00	619.00	0.37	0.59	1.10
	广州南-湛江西	363.66	249.00	387.00	743.00	0.58	0.90	1.72
	深圳北-北京西	1936.37	1039.00	1644.00	3241.00	0.43	0.69	1.35
	深圳-上海虹桥	1199.85	834.00	1341.50	2653.50	0.51	0.83	1.63
甘 肃	兰州西-北京西	1356.00	700.00	1109.50	2183.50	0.39	0.62	1.22
	兰州西-长沙南	1505.00	812.00	1300.50	2529.00	0.41	0.66	1.28
	兰州西-广州南	1719.10	1038.00	1662.00	3242.00	0.39	0.62	1.21
	兰州西-杭州东	-	922.00	1484.00	2831.00	0.45	0.73	1.39
	兰州西-西安北	-	199.50	320.50	599.50	0.35	0.56	1.06
	兰州西-武汉	1275.00	605.00	920.00	1961.00	0.37	0.57	1.21
	兰州西-福州南	-	1099.00	1791.50	3408.00	0.43	0.70	1.33
云 南	昆明南-成都东	647.10	517.50	846.00	953.50	0.47	0.76	0.86
	昆明南-福州	1655.30	806.00	1357.50	2545.00	0.39	0.65	1.22
	昆明南-杭州东	1819.50	806.00	1358.00	2545.50	0.39	0.65	1.22
	昆明南-上海虹桥	1972.70	879.00	1475.00	2765.00	0.39	0.65	1.23
	昆明南-深圳北	1175.60	610.00	975.50	1106.00	0.43	0.68	0.77
	昆明南-武汉	1295.30	664.50	1105.00	2098.50	0.43	0.72	1.37
	昆明南-厦门	1546.40	851.00	1414.00	2651.50	0.36	0.61	1.13
	昆明南-石家庄	1843.50	1131.00	1850.50	3563.00	0.46	0.75	1.44

数据来源：12306 网站查询[2022-09-25]，距离由欣欣旅游网获取 <https://huoche.cncn.com/>

民航运价率的计算方法为不同舱位等级非折扣票价加上燃油机建费与起讫点间距离相除。民航的出行费用参考携程网售票数据，统计各 OD 间民航出行折扣票价、折扣率（折扣率为折扣后价格和非折扣价格的比值）、燃油机建费，计算得到非折扣价格。起讫点距离取两城市间的直线距离。典型民航线路出行费用如下表 5-8 所示。其中燃油机建费基于 2022 年 9 月 5 日调整后费用，机建费为 50 元，成人旅客，800 公里以下航段（含 800 公里），每名旅客收取燃油附加费 60 元；800 公里以上航段，每名旅客收取燃油附加费 120 元。

表 5-8 典型民航线路出行费用

省份	起讫点	起讫点 城市间 直线距 离(km)	舱位	折扣价 格(元)	折扣 率	非折扣 价格 (元)	燃油机 建费 (元)	运价率 (元 /km)
辽宁	桃仙国际 机场-大兴 国际机场	642	经济舱	440	31%	1419	110	2.38
			头等舱 (公务舱)	1150	26%	4423	110	7.06
	桃仙国际 机场-双流 国际机场	2134	经济舱	800	30%	2667	170	1.33
			头等舱 (公务舱)	3500	66%	5303	170	2.56
	桃仙国际 机场-咸阳 国际机场	1515	经济舱	450	27%	1667	170	1.21
			头等舱 (公务舱)	1380	28%	4929	170	3.37
	桃仙国际 机场-虹桥 国际机场	1176	经济舱	730	33%	2212	170	2.02
			头等舱 (公务舱)	1559	18%	8661	170	7.51
	桃仙国际 机场-白云 国际机场	2238	经济舱	1080	36%	3000	170	1.42
			头等舱 (公务舱)	3720	54%	6889	170	3.15
	桃仙国际 机场-武宿 国际机场	1023	经济舱	529	39%	1356	170	1.49
			头等舱 (公务舱)	1040	26%	4000	170	4.08
	周水子国 际机场-浦 东国际机 场	869	经济舱	195	14%	1393	170	1.80
			头等舱 (公务舱)	910	25%	3640	170	4.39
鞍山腾鳌 机场-上海 浦东国际 机场	1110	经济舱	1420	99%	1434	170	1.45	
		头等舱 (公务舱)	3259	99%	3292	170	3.12	
山东	遥墙国际 机场-大同 云岗机场	482	经济舱	450	71%	634	110	1.54
			头等舱 (公务舱)	810	51%	1588	110	3.52
	遥墙国际 机场-威海 大水泊机 场	447	经济舱	690	79%	873	110	2.20
			头等舱 (公务舱)	1000	57%	1754	110	4.17
	遥墙国际 机场-呼和 浩特白塔 机场	644	经济舱	590	51%	1157	170	2.06
头等舱 (公务舱)			2850	99%	2879	170	4.73	

	遥墙国际机场-哈尔滨太平机场	1233	经济舱	450	29%	1552	170	1.40	
			头等舱 (公务舱)	1769	57%	3104	170	2.66	
	遥墙国际机场-上海虹桥机场	735	经济舱	390	28%	1393	170	2.13	
			头等舱 (公务舱)	4050	99%	4091	170	5.80	
	蓬莱国际机场-深圳宝安机场	1870	经济舱	1370	54%	2537	170	1.45	
			头等舱 (公务舱)	5080	100%	5080	170	2.81	
	蓬莱国际机场-厦门高崎机场	1484	经济舱	1100	63%	1746	170	1.29	
			头等舱 (公务舱)	1540	61%	2525	170	1.82	
	蓬莱国际机场-成都天府机场	1727	经济舱	910	50%	1820	170	1.15	
			头等舱 (公务舱)	1290	36%	3583	170	2.17	
	蓬莱国际机场-长沙黄花机场	1278	经济舱	750	51%	1471	170	1.28	
			头等舱 (公务舱)	3700	100%	3700	170	3.03	
	河南	新郑国际机场-大同云冈机场	617	经济舱	400	33%	1212.12	110	2.14
				头等舱 (公务舱)	780	28%	2785.71	110	4.70
新郑国际机场-宁波栎社国际机场		888	经济舱	240	22%	1090.91	170	1.42	
			头等舱 (公务舱)	1390	62%	2241.94	170	2.72	
新郑国际机场-广州白云国际机场		1241	经济舱	350	21%	1666.67	170	1.48	
			头等舱 (公务舱)	1220	21%	5809.52	170	4.82	
新郑国际机场-福州长乐国际机场		1108	经济舱	300	24%	1250.00	170	1.28	
			头等舱 (公务舱)	790	26%	3038.46	170	2.90	
北郊机场-大兴国际机场		640	经济舱	349	41%	851.22	110	1.50	
			头等舱 (公务舱)	519	20%	2595.00	110	4.22	
洛阳北郊机场-深圳宝安国际机场		1355	经济舱	780	54%	1444.44	170	1.19	
			头等舱 (公务舱)	1380	32%	4312.50	170	3.31	
信阳明港		656	经济舱	598	63%	949.21	170	1.71	

	机场-杭州萧山国际机场		头等舱 (公务舱)	786	42%	1871.43	170	3.11
	信阳明港机场-西安咸阳国际机场	573	经济舱	428	63%	679.37	110	1.38
			头等舱 (公务舱)	563	42%	1340.48	110	2.53
广东	广州白云机场-大兴国际机场	1818	经济舱	518	19%	2726	170	1.59
			头等舱 (公务舱)	1449	18%	8050	170	4.52
	广州白云机场-新郑国际机场	1241	经济舱	320	19%	1684	170	1.49
			头等舱 (公务舱)	1220	22%	5545	170	4.60
	广州白云机场-咸阳国际机场	1306	经济舱	320	16%	2000	170	1.66
			头等舱 (公务舱)	1450	32%	4531	170	3.60
	广州白云机场-江北国际机场	966	经济舱	400	23%	1739	170	1.98
			头等舱 (公务舱)	1300	29%	4483	170	4.81
	广州白云机场-长乐国际机场	703	经济舱	1360	83%	1639	110	2.49
			头等舱 (公务舱)	1620	40%	4050	110	5.92
	宝安国际机场-北京首都国际机场	1960	经济舱	2750	100%	2750	170	1.49
			头等舱 (公务舱)	4979	67%	7431	170	3.88
	宝安国际机场-浦东国际机场	1233	经济舱	300	14%	2143	170	1.88
			头等舱 (公务舱)	1760	27%	6519	170	5.42
珠海金湾机场-黄花国际机场	688	经济舱	370	51%	725	110	1.21	
		头等舱 (公务舱)	1080	60%	1800	110	2.77	
珠海金湾机场-梅州梅县机场	375	经济舱	180	18%	1000	110	2.96	
		头等舱 (公务舱)	660	29%	2276	110	6.36	
甘肃	兰州中川机场-北京大兴国际机场	1356	经济舱	269	12%	2242	170	1.78
			头等舱 (公务舱)	1326	17%	7800	170	5.88
	兰州中川机场-重庆江北国际	1208	经济舱	450	36%	1250	170	1.18
			头等舱 (公务舱)	870	28%	3107	170	2.71

	机场							
	兰州中川机场-长沙黄花国际机场	1505	经济舱	702	42%	1671	170	1.22
			头等舱 (公务舱)	1982	52%	3812	170	2.65
	兰州中川机场-成都双流国际机场	940	经济舱	1020	84%	1214	170	1.47
			头等舱 (公务舱)	1110	30%	3700	170	4.12
	兰州中川机场-武汉天河国际机场	1275	经济舱	510	38%	1342	170	1.19
			头等舱 (公务舱)	1060	32%	3313	170	2.73
	陇南成县机场-青岛胶东国际机场	1545	经济舱	1140	71%	1606	170	1.15
			头等舱 (公务舱)	1590	41%	3878	170	2.62
	陇南成县机场-西安咸阳国际机场	381	经济舱	710	71%	1000	110	2.91
			头等舱 (公务舱)	1060	43%	2465	110	6.76
云南	昆明长水国际机场-北京大兴国际机场	2097	经济舱	1170	38%	3079	170	1.55
			头等舱 (公务舱)	1850	22%	8409	170	4.09
	昆明长水国际机场-成都天府国际机场	647	经济舱	1300	84%	1548	110	2.56
			头等舱 (公务舱)	1830	40%	4575	110	7.24
	昆明长水国际机场-长乐国际机场	1655	经济舱	1140	51%	2235	170	1.45
			头等舱 (公务舱)	3037	55%	5522	170	3.44
	昆明长水国际机场-萧山国际机场	1820	经济舱	550	24%	2292	170	1.35
			头等舱 (公务舱)	5980	100%	5980	170	3.38
	昆明长水国际机场-高崎国际机场	1546	经济舱	540	25%	2160	170	1.51
			头等舱 (公务舱)	2580	48%	5375	170	3.59
昆明长水	1755	经济舱	880	41%	2146	170	1.32	

国际机场- 禄口国际 机场		头等舱 (公务舱)	2330	56%	4161	170	2.47
大理机场- 江北国际 机场	750	经济舱	600	50%	1200	170	1.83
		头等舱 (公务舱)	1800	54%	3333	170	4.67
大理机场- 黄花国际 机场	1285	经济舱	1090	64%	1703	170	1.46
		头等舱 (公务舱)	1185	32%	3703	170	3.01

数据来源：携程网[2022-09-25]

注：若航班没有公务舱，则取头等舱价格；若航班同时出售头等舱和公务舱，则仅统计公务舱价格。

由表 5-7、表 5-8 可以看出，高铁二等座运价率大部分列车位于 0.35~0.5 元/km 之间，一等座运价率大部分位于 0.6~0.8 元/km 之间，商务座运价率大部分位于 1.0~1.6 元/km 之间。在不考虑优惠票价的情况下，民航经济舱运价率位于 1.0~2.5 元/km 之间，民航头等舱（公务舱）运价率位于 2.5~7.0 元/km 之间。民航经济舱在不考虑打折的情况下，运价率与高铁商务座相当，而头等舱（公务舱）的运价率则高出经济舱 2~3 倍，运价率远高于高铁，竞争优势较小。

由于二等座和经济舱数量较多，供给量较大，是高铁与民航提供的主要服务类型。本节重点探讨高铁二等座与民航经济舱的票价设置与其竞争力关系。根据项目组搜集整理的六个省份 118 条典型高铁线路及 217 条典型航班票价信息，去除明显异常值后，绘制的二等座、经济舱运价率分布如下图 5-5、图 5-6 所示。

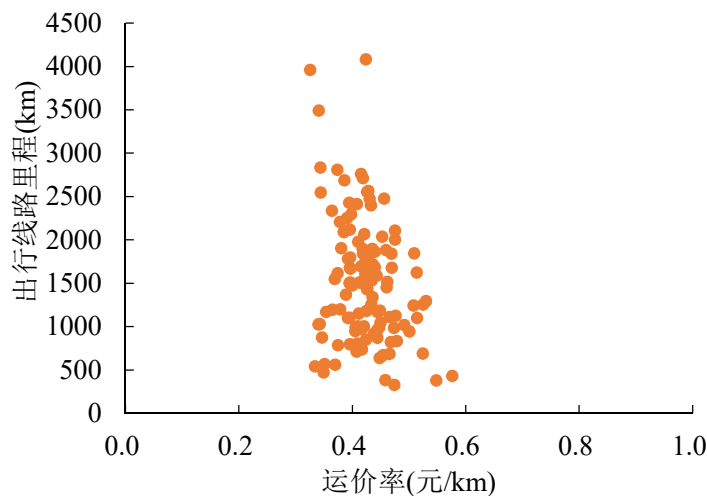


图 5-5 典型高铁线路二等座运价率分布

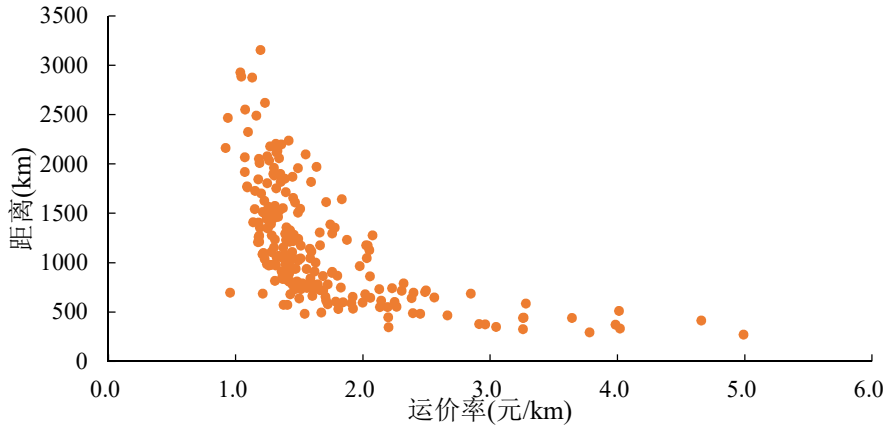


图 5-6 典型航班经济舱运价率分布

由图 5-5、图 5-6 可以看出，高铁运价率与距离的关系较弱，大致分布于 0.35~0.5 元/km，民航运价率与距离的关系稍强，呈现出距离越短运价率越高的趋势。对两组数据做 Pearson 相关性分析，高铁二等座运价率与距离的相关性系数为-0.281，民航经济舱运价率与距离的相关性系数为-0.586。民航在短距离出行中，运价率分布于 1.5~5.0 元/km，运价率相对较高，竞争力较弱。在长距离出行中，高铁运价率仍然保持在 0.35~0.5 元/km 区间，民航则主要分布于 1.0~1.5 元/km，在民航折扣率低于 0.5 时，民航具有较强的竞争力。

由于大部分民航票价是折扣出售，因此折扣率对于民航竞争力有较大的影响。本节进一步分析民航折扣票价在高铁与民航竞争中的关系。民航折扣票运价率（计入燃油机建费）与距离的关系如下图 5-7 所示。

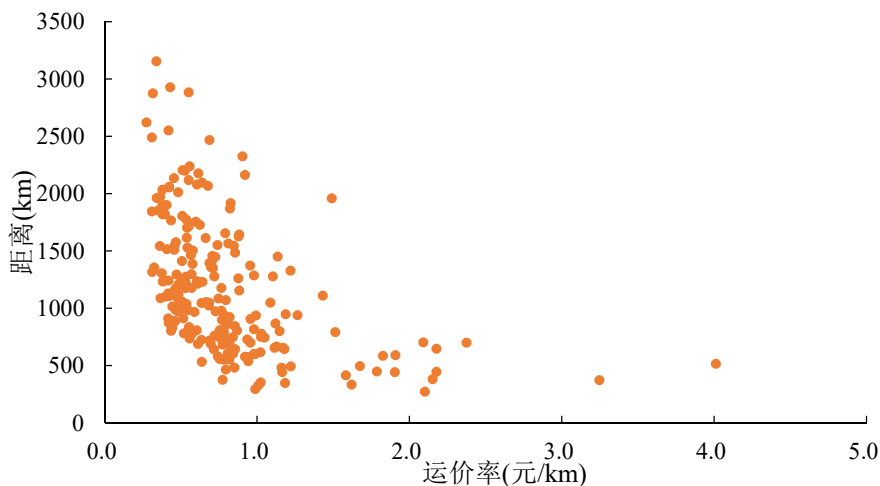


图 5-7 典型航班经济舱折扣票运价率分布

可以看出,由于民航票价普遍折扣率较高,折扣后的运价率大多位于 0.3~1.0 元/km 之间。相对于高铁运价率 0.35~0.5 元/km,折扣后的民航票价拥有一定的竞争力,部分航班的运价率甚至低于高铁。在搜集的 217 条民航中,折扣率在 20%~30%的频数为 61,占比为 28.1%,折扣率在 30%~40%的频数为 41,占比为 18.9%。70.5%的航班票价折扣超过 50%。具体折扣率频数分布如下图 5-8 所示。

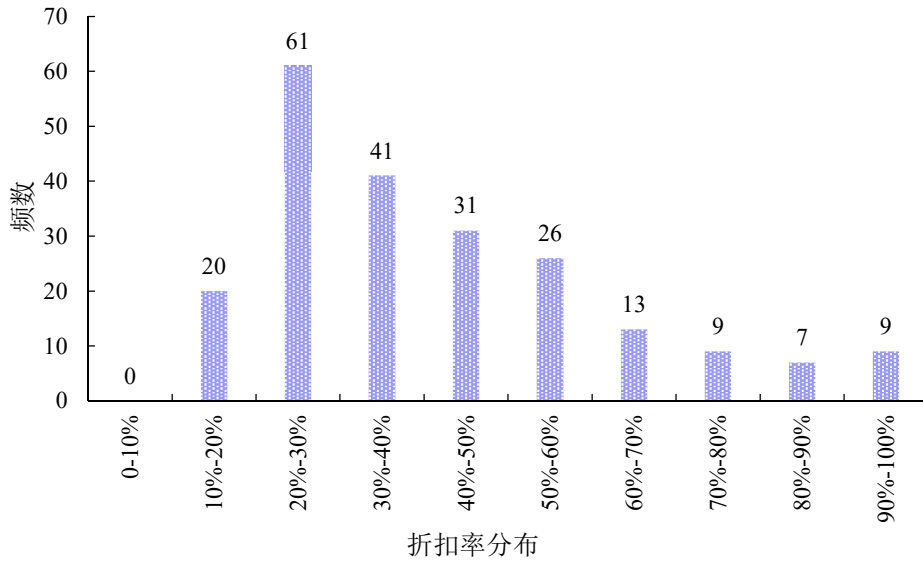


图 5-8 典型航班折扣率分布图

根据前文分析民航经济舱运价率位于 1.0~2.5 元/km 之间,在折扣率为 50% 时,考虑机建燃油费的运价率降至 0.6~1.3 元/km,在折扣率为 30%时,运价率降低至 0.35~0.9 元/km,与高铁 0.35~0.5 元/km 的差距较小,具有较强的竞争力。

5.3.3 高铁票制市场化改革策略

2016 年前铁路和高铁实施国家定价,主要定价依据为建设和运营成本。2016 年国家发改委下发《关于改革完善高铁动车组旅客票价政策的通知》中指出,对中央管理企业全资及控股铁路设计时速 200 公里以上动车组列车一、二等票价,交由铁路运输企业根据法律自主制定。高铁定价权已下放至铁路企业,但高铁票制市场化程度低、缺乏灵活性的问题依然存在。

我国最早实现挂牌上市的京沪高铁试点了市场化的浮动票价机制。2020 年京沪高铁发布的《京沪高速铁路股份有限公司关于优化调整京沪高铁票价的公告》

中提出实施浮动票价机制，将北京南站-上海虹桥站全程列车二等座最高执行票价调整为 598 元，最低执行票价调整为 498 元。全程列车商务座最高执行票价调整为 1998 元，最低执行票价为 1748 元。2013 年京沪、京广高铁在暑期推出了预售优惠票，部分动车组列车的商务、特等和一等座票，在预售期 1 至 5 天内实行 8.5 折特惠，在预售期 6 至 20 天内实行 8 折特惠。同时，为方便通勤旅客或出行次数较多的城际旅客，部分城际线路开通了计次票和定期票产品，计次票在 90 天内可乘坐指定起讫点列车 20 次，定期票在 30 天内可乘坐指定起讫点列车 60 次。然而，综合来看，上述市场化票制并未得到有效推广，优惠方式、优惠力度、服务水平有待进一步研究。

此外我国优惠票制难以体现我国铁路准公益性特征。根据 2022 年发布的《铁路旅客运输规程》，我国优惠票种类包含儿童票、学生票、军人票，缺乏针对老年人的优惠。儿童票方面，6-14 周岁的儿童应当购买儿童优惠票（半价）；年满 14 周岁，应当购买全价票。每一名持票成年人旅客免费携带一名未满 6 周岁且不单独占用席位的儿童乘车，超过一名时，超过人数应当购买儿童优惠票。学生票方面，动车组列车只发售指定区间的二等座车学生票，学生票为全价票的 75%，学生票一年只可优惠四次。学生票在限制区间的基础上，折扣力度不高。欧洲青年票规定青少年（12-27 岁）可在通票优惠的基础上再享受 25% 的折扣。军人票方面，铁路部门规定因伤致残的军人凭“中华人民共和国残疾军人证”、因公致伤的人民警察凭“中华人民共和国伤残人民警察证”，可以购买残疾军人优待票（50% 的票价优惠），针对军人等特殊人群的优惠政策要求较为苛刻，部分特殊人群无法享受到优惠。

综上所述，我国高铁实施企业定价以来，并未根据客流需求、旅客类型提供合理的、有针对性的优惠政策，以鼓励旅客选择高铁出行。目前，我国旅客出行需求大，高铁尚有部分能力未得到充分利用。应充分研究高铁票市场化改革机制，鼓励人们选择高铁这一绿色出行方式，助力我国客运结构优化。

表 5-9 列出了国外部分铁路优惠票制。可以看出，国外铁路市场化程度较高，根据区域、旅客类型、出行目的等实施了丰富的优惠票以鼓励铁路出行。

表 5-9 国外部分铁路优惠票制

国家	票制策略	部分市场化票价策略
美国	区域化定价	东北部地区旅客可享 50% 的优惠； 中西部地区学生可享 15% 折扣； 东南部地区的特惠票价最低为 9 美元。
	优惠票	提前订票可享最高 25% 的折扣； 部分车次多人同乘可获 50% 及以上的折扣。
	特殊人群票	婴儿可免费乘坐铁路； 儿童、学生、老人分别可享 50%、15%、10% 的折扣； 特殊人群如军人、军属和残障人士等享 10% 的折扣。
	通票	美国铁路对通勤或多次乘车旅客的优惠折扣，一般按月计算。 例如多程通票、普通通票和加州铁路通票。
日本	儿童票	6-11 岁儿童采取通票策略，6 岁以下儿童免费乘车
	旅游票	周游券：在指定区域无限次乘坐相应的普通列车。 JR PASS：境外旅客指定天数内无限次乘车。
印度	按乘客属性细分的优惠策略	老年人享受 40-50% 的折扣； 学生、患者、荣誉获得者、艺术家和运动员享受 50-75% 折扣； 青少年、教育相关工作人员、医生享受 10-50% 的折扣。
欧洲	青年票	青少年（12-27 岁）可在通票优惠的基础上再享受 25% 的折扣。

数据来源：

[1]美国票价策略来源于“美国高速铁路协会”网站(<https://www.ushsr.com/>)。

[2]日本票价策略数据来源于“东日本铁路公司”网站
(<https://www.jreast.co.jp/multi/zh-CHS/pass/>)。

[3]印度票价策略 来源于“印度铁路网”网站

(<https://indianrailways.gov.in/railwayboard/uploads/directorate/coaching/pdf/ExplanatoryNotes.pdf>)。

[4] 欧洲票价策略来源于“铁路旅游信息”网站(<https://rail.cc/zh/german-rail-pass/>)。

针对我国高铁市场化程度低、缺乏灵活性的问题，结合我国国情和实际运营情况，现提出高铁票制市场化改革建议：

① 考虑地区经济发展水平差异，实行分线差异化定价。

高铁票价与距离和区域的弹性小，对西部居民的吸引力较低。2015 年发布

的《关于改革完善高铁动车组旅客票价政策的通知》中指出“可根据运输市场竞争状况、服务设施条件差异、客流分布变化规律、旅客承受能力和需求特点等实行一定折扣，确定实际执行票价”。高铁企业应研究客票特征历史数据，分析各区段列车上座率，充分考虑其他交通方式的竞争行为，充分发挥铁路运输准公益性特点，实施市场化的弹性票价机制，采用分地区定价、分时定价等适应客流需求和经济发展水平的票制策略，充分发挥西部能力富裕线路的运力，让利于民，促进西部社会经济发展。

② 根据出行时间规律，实行分时定价，用好低谷能力。

为解决高铁高峰时段车次一票难求，低峰时段车次上座率低的问题。高铁企业应研究出台非高峰期折扣票价，对高峰期的部分车票加价销售，低谷优惠，通过“削峰填谷”的价格手段引导旅客错峰出行。此外，应根据旅客在不同季节、节假日出行规律，制定差异化票价政策，吸引旅客淡季出行，避免旺季过度拥挤。尝试周末、节假日期间执行与日常不同的票价，淡季视情况打折销售。

③ 针对不同出行群体，出台更多价格优惠策略。

我国对出行群体的优惠力度较弱，国外已实施丰富的针对人群、出行目的的优惠政策，有力促进了各类群体选择高铁出行。出台服务于商务、通勤、旅游等出行目的的差异化票价机制，如对通勤旅客提供月卡，为旅游旅客提供按时间的通票等，在提供票价优惠的基础上，方便旅客出行。此外，应推出更丰富的特殊旅客优惠票，对老年人、残疾人、军人、学生提供优惠票制，放宽优惠条件，扩大高铁服务的准公益性。

④ 对于不同速度等级、购票时间提供差异化的弹性票价。

当前高铁票没有根据速度等级提供差异化票价，快车和慢车有时时间差异较大。图 5-9、图 5-10 根据项目组的调查研究绘制，反映了弹性票价下旅客选择不同速度等级列车的意愿情况。

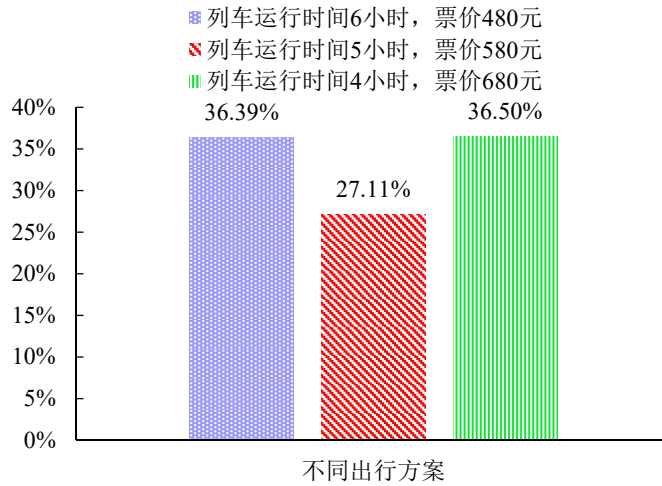


图 5-9 弹性票价下旅客选择不同速度等级列车的比例

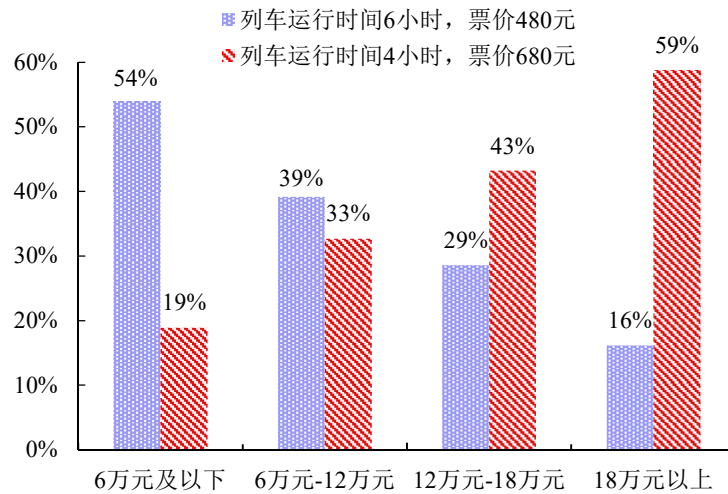


图 5-10 弹性票价下不同收入水平旅客选择快车和慢车的比例

可以看出，高票价的快车和低票价的慢车的接受度较高，占比分别超过了36%。高收入群体对于高票价快车的接受度极高，低收入群体则更愿意选择低票价的慢车。因此，高铁企业应研究适当提高快车的票价，降低慢车的票价，在保证运营收益的前提下，为乘客提供更加个性化的选择。此外，应推广预售优惠票，根据购票时间提供弹性票价。这有助于高铁企业把握客流需求，合理安排车次，提高列车上座率，减少运能、能源浪费。

⑤ 增加西部线路高铁列车停靠频率，扩大高铁服务时间与空间面。

西部地区内的大量高铁线路区段利用率不足50%，部分车站开通运行但并未

得到充分利用。西部地区旅客收入低于东部，对时间的要求低，通过少量牺牲旅行速度、增加停靠点，扩大对沿线服务的时间与空间范围。对于通达西部地区外的线路，票价可适当高于西部地区内的线路，但不超过东部地区线路。

5.4 双碳战略下我国支线机场经营与发展策略研究

航班有三种类型：直达航班、经停航班与中转航班。直达航班是指飞机从出发机场起飞，一路飞行至目的地机场的航班。经停航班指飞机从出发机场出发，在中途降落某个经停机场并停留一段时间后，继续飞往终到机场的航班。在经停机场，部分旅客会下机，而新航段的旅客则会登机。中转航班是指旅客在飞往目的地的过程中，在一个或者多个中转机场转机的航班。经停航班与中转航班通常用于连接飞行距离较远或者无法直达的航线，但二者存在一定的区别。例如，经停航班通常只有一个经停点，中转航班可以有多个中转点，此外经停航班到达经停点后尚未到达目的地的旅客无需下机，继续等待航班飞往目的地，而中转航班到达中转点后所有乘客都必须下飞机。

中国民用航空局公布的《2021 年民航行业发展统计公报》显示，2021 年我国的定期航班航线条数有 4864 条，其中国内航线共有 4585 条。航线里程方面，按重复距离计算的航线里程达 1049.63 万公里，其中国内航线里程达 903.27 公里；按不重复距离计算的航线里程达 689.78 万公里，其中国内航线里程达 557.81 公里。图 5-11 为我国 2023 年 2 月某日的国内经停航线图。

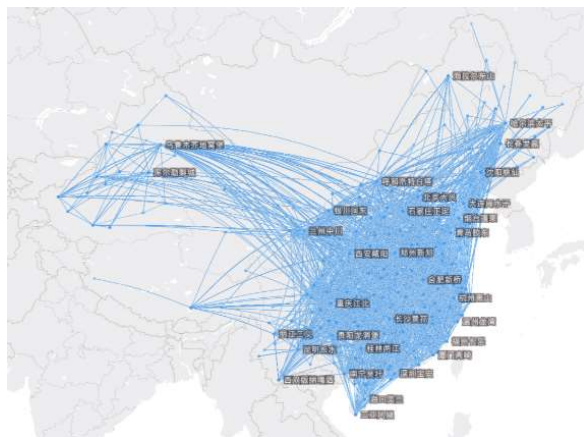


图 5-11 我国经停航线图

来源：飞常准官网(<https://map.variflight.com/query>)

图 5-11 中的经停航线一共连接了我国 200 个机场。根据飞常准官网显示我国 2023 年 2 月某日的国内航班量约 1.6 万个，其中经停航班占比达 16.1%。

图 5-12 反映了经停航线里程分布。

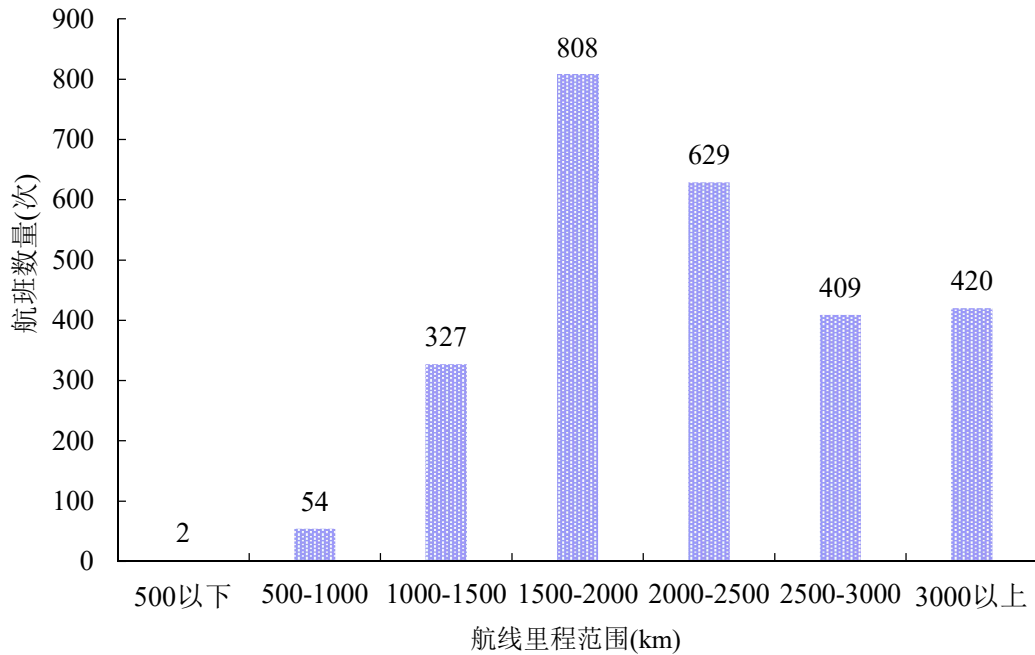


图 5-12 经停航班航线里程分布

根据我国经停航线航程分布情况，结合各航线里程范围内的经停航班数量可以发现，我国 1500km 以上的经停航线占比较高，达到了 85.5%，这表明 1500km 以上为我国主要经停航线的航程分布范围。

5.4.1 经停策略利弊

经停航班与直达航班是两种较为常见的航班类型。接下来本小节将从票价、飞行时间、票价率、碳排放等方面阐述经停航班与直达航班的差异，以此分析经停策略的利弊。

(1) 票价

表 5-10 列举了我国部分航段直达航班与经停航班的票价（重点对比东航、南航、国航、海航等大型航空公司航班）。经停优惠率是直达航班票价与经停航班票价的差额与直达航班票价之间的比例，用于表示选择经停航班相对于直达航

班所能够节省的票价比例。

表 5-10 直达航班与经停航班票价对比

航线	直达票价 (元)	经停票价 (元)	经停优惠率
阿克苏红旗坡-库尔勒梨城-兰州中川	510-600	490	3.9%~18.3%
阿克苏红旗坡-乌鲁木齐地窝堡-重庆江北	750-1460	700	6.7%~52.1%
长春龙嘉-威海大水泊-成都天府	1110-1450	1060	4.5~26.9%
长春龙嘉-盐城南洋-成都天府	650-1330	587	9.7%~55.9%
长春龙嘉-呼和浩特白塔-兰州中川	1882	1040	44.7%
重庆江北-常德桃花源-温州龙湾	770-810	677	12.1~16.4%
重庆江北-柳州白莲-海口美兰	300-950	250-720	16.7%~24.2%
重庆江北-永州零陵-海口美兰	300-950	300-720	0.00%~24.2%
重庆江北-文山砚山-昆明长水	528-946	380	28.0~59.8%
宁波栎社-明月山-重庆江北	676-1030	640	5.3%~37.9%
宁波栎社-井冈山-重庆江北	623-1280	580	6.9%~54.7%
北京大兴-吕梁大武-昆明长水	1260-2190	1020	19.0~53.4%
北京大兴-陇南成县-贵阳龙洞堡	1110-1540	650	41.4~57.8%
北京大兴-合肥新桥-厦门高崎	1185-1510	940	20.7~33.7%
和田-于田万方-库尔勒梨城	470-590	400-450	14.9%~23.7%
长春龙嘉-呼和浩特白塔-兰州中川	1040	1040	0.00%
阿克苏红旗坡-西安咸阳-青岛胶东	-	1440-1620	-
阿克苏红旗坡-成都天府-西双版纳嘎洒	-	1810	-
阿克苏红旗坡-重庆江北-衢州	-	1900	-
青岛胶东-西安咸阳-阿克苏红旗坡	-	1440	-
杭州萧山-乌鲁木齐地窝堡-阿克苏红旗坡	-	2110	-

数据来源：携程官网(2023-04-28 查询)；“-”表示起点至终点航段无直达航班；经停优惠率=（直达票价-经停票价）/直达票价。

通过对比经停航班与直达航班的票价可以发现，同一起终点，经停航班的票价普遍低于直达航班，经停优惠率大多在 20%以上，案例航班经停优惠率最高可达 59.8%。部分航段无直达航班，由于经停航班是唯一选择，因此经停航班的票价相对较高。

(2) 飞行时间

同一起终点的经停航班与直达航班在飞行时间上存在较大的差异，表 5-11 列举了我国部分航段直达航班与经停航班的飞行时间。

表 5-11 直达航班与经停航班运行时间对比

航线	直达航班 飞行时间 (min)	经停航班飞行时间 (min)	经停航班与 直达飞行时 间差值 (min)
阿克苏红旗坡-库尔勒梨城-兰州中川	195-220	280(经停 60min)	60-85
阿克苏红旗坡-图木舒克唐王城-喀什	60-65	135(经停 40min)	70-75
阿克苏红旗坡-乌鲁木齐地窝堡-重庆江北	235-250	370(经停 65min)	120-135
长春龙嘉-威海大水泊-上海虹桥	115-185	265(经停 45min)	80-150
长春龙嘉-威海大水泊-成都天府	235-250	360(经停 50min)	110-125
长春龙嘉-盐城南洋-成都天府	235-250	370(经停 45min)	120-135
重庆江北-常德桃花源-温州龙湾	130-155	215(经停 45min)	60-85
重庆江北-柳州白莲-海口美兰	120-140	210(经停 50min)	70-90
重庆江北-永州零陵-海口美兰	120-140	230(经停 45min)	90-110
宁波栎社-明月山-重庆江北	145-170	245(经停 45min)	75-100
宁波栎社-井冈山-重庆江北	145-170	265(经停 45min)	95-120
重庆江北-文山砚山-昆明长水	90-105	210(经停 45min)	105-120
北京大兴-吕梁-昆明长水	220-245	315(经停 45min)	70-95
兰州中川-呼和浩特白塔-长春龙嘉	190-200	285(经停 50min)	85-95
和田-于田万方-库尔勒梨城	90	145(经停 40min)	55-55
北京大兴-庆阳西峰-重庆江北	160-195	290(经停 65min)	95-130
长春龙嘉-呼和浩特白塔-兰州中川	190-215	290(经停 50min)	75-100
北京大兴-陇南成县-贵阳龙洞堡	170-220	290(经停 45min)	70-120
阿克苏红旗坡-西安咸阳-青岛胶东	-	445(经停 65min)	-
阿克苏红旗坡-成都天府-西双版纳嘎洒	-	450(经停 95min)	-
阿克苏红旗坡-重庆江北-衢州	-	435(经停 65min)	-
青岛胶东-西安咸阳-阿克苏红旗坡	-	450(经停 75min)	-
杭州萧山-乌鲁木齐地窝堡-阿克苏红旗坡	-	470(经停 60min)	-
伊春林都-沈阳桃仙-广州白云	-	400(经停 50min)	-
广州白云-重庆江北-拉萨贡嘎	-	360(经停 65min)	-
广州白云-迪庆香格里拉-拉萨贡嘎	-	300(经停 65min)	-
拉萨贡嘎-迪庆香格里拉-广州白云	-	320(经停 45min)	-
拉萨贡嘎-重庆江北-广州白云	-	340(经停 65min)	-
延吉朝阳川-长春龙嘉-广州白云	-	435(经停 95min)	-
广州白云-长春龙嘉-延吉朝阳川	-	375(经停 60min)	-
广州白云-呼和浩特白塔-海拉尔东山	-	395-415(经停 60min)	-
海拉尔东山-呼和浩特白塔-广州白云	-	375-410(经停 60min)	-

数据来源:携程官网(2023-04-28 查询),“-”表示航段无直达航班。

通过对比航班的飞行时间可以发现，经停航班的经停时间约为 40-95min。同一起终点的航段，经停航班的飞行时间均高于直达航班，经停航班的飞行时间较直达航班多 55-150min。在航班飞行过程中，经停航班需要在中途的经停机场停留一段时间，等待部分旅客下机或登机，除了中途停留时间，经停航班还需多经历一次 LTO 过程时间；而直达航班可以直接从起点机场飞往终点机场，避免了中途停留的时间，因此直达航班的飞行时间相对于经停航班较短。

(3) 票价率

对比大型航空公司（东方航空、南方航空、中国国航）相近时段开行的直达航班与经停航班的票价与票价率，结果如表 5-12 所示。

表 5-12 直达航班与经停航班票价率对比

航线	起终点距离(km)	经济舱票价(元)		经济舱票价率(元/km)		直达航班与经停航班的经济舱票价率之比
		直达航班	经停航班	直达航班	经停航班	
北京大兴-吕梁-昆明长水	2098	1023	640	0.49	0.31	1.60
重庆江北-明月山-宁波栎社	1512	720	640	0.48	0.42	1.13
北京大兴-榆阳-兰州中川	1171	1016	700	0.87	0.60	1.45
长沙黄花-涟水-沈阳桃仙	1791	1220	910	0.68	0.51	1.34
成都天府-遥墙-长春龙嘉	2457	1480	797	0.60	0.32	1.86
重庆江北-巫山-深圳宝安	1349	970	500	0.72	0.37	1.94

数据来源：携程官网(2023-5-06 查询)

通过对比票价与票价率可以发现，各航线中，直达航班的票价及票价率通常高于经停航班，直达航班与经停航班的票价率之比均大于 1，经停航班的性价比高于直达航班。

(4) 碳排放

从航班的飞行过程看，直达航班直接从起点机场飞往终点机场，经停航班从起点机场飞往终点机场的过程中会在某个机场进行短暂停留，这意味着经停航班较直达航班多经历 1 次及以上的飞行、爬升、接近、滑行等过程。根据既有研究，飞机的碳排放量与飞机的起降循环次数成正比关系。因此，经停航班与直达航班存在碳排放差异。表 5-13 为 A321 机型在 1000、1500、2000km 下，不同客座率与经停次数下的飞机碳排放因子。

表 5-13 A321 机型不同航程、客座率及经停次数下的碳排放因子 (gCO₂/人公里)

		50%	60%	70%	80%	90%	100%
1000km	直达	154.25	128.54	110.18	96.40	85.69	77.12
	经停 1 次	183.59	152.99	131.14	114.74	102.00	91.80
	经停 1 次碳排放因子增量	29.35	24.45	20.96	18.34	16.30	14.67
1500km	直达	144.46	120.39	103.19	90.29	80.26	72.23
	经停 1 次	164.03	136.69	117.16	102.52	91.13	82.01
	经停 1 次碳排放因子增量	19.56	16.30	13.97	12.23	10.87	9.78
2000km	直达	139.57	116.31	99.69	87.23	77.54	69.79
	经停 1 次	154.25	128.54	110.18	96.40	85.69	77.12
	经停 1 次碳排放因子增量	14.67	12.23	10.48	9.17	8.15	7.34

注：经停 1 次碳排放因子增量=经停 1 次碳排放因子-直达碳排放因子

当直达航班与经停 1 次的航班的客座率相同时，经停 1 次的航班的碳排放因子始终高于直达。当客座率为 70% 时，1000km、1500km、2000km 航程下 A321 经停 1 次的碳排放因子较直达分别增加 19.0%、13.5%、10.5%，表明经停次数与航程对航班的碳排放有显著影响。从表 5-13 还可看出，客座率的上升能够有效使航班的碳排放因子下降。此外随客座率的提升，直达航班与经停 1 次航班的碳排放因子差距在不断缩小。

5.4.2 支线机场发展策略

《2019 年民航机场生产统计公报》数据显示，2019 年我国境内运输机场共 238 个（不含港澳台），约 76.9% 的机场旅客吞吐量不足 300 万，约 55.5% 的机场旅客吞吐量不足 100 万，约 39.5% 的机场旅客吞吐量不足 50 万，其中支线机场

的占比较大，业务量较少。因此，在目前支线机场业务量低，客流量较少的情况下，支线机场增加经停的潜力较大。

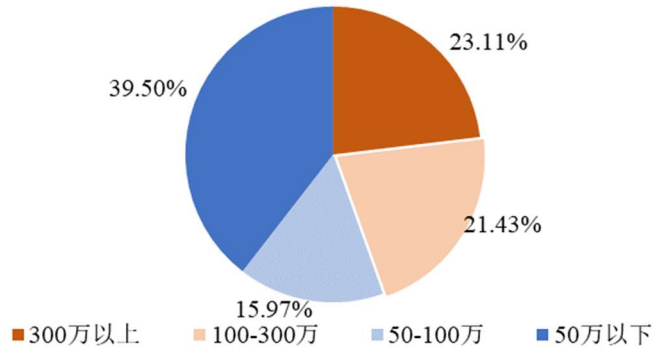


图 5-13 2019 年机场旅客吞吐量分布

飞机经停通常可以飞往更多的目的地，且经停航班的票价与票价率普遍低于直达航班，这有助于吸引旅客，提升航线客座率。飞机经停 1 次碳排放因子高于直达航班，但客座率的上升能够有效减少甚至抵消由经停造成的碳排放量上升。对于不同的航程，为保持经停 1 次航班的碳排放因子与直达航班一致，客座率所需上升的幅度不同。以 A330、A321 为例，当飞机直达客座率为 60%-80%时，在 1000、1500、2000km 航程下，为维持飞机经停 1 次后的碳排放因子与直达时一致，经停 1 次航班较直达航班所需客座率上升的比例如表 5-14 所示。

表 5-14 维持碳排放因子不变，经停 1 次所需的客座率上升比例

		60%	65%	70%	75%	80%
1000km	A330	19.5%	21.1%	22.7%	24.3%	-
	A321	12.9%	13.9%	15.0%	16.1%	17.1%
1500km	A330	14.6%	15.8%	17.0%	18.2%	19.4%
	A321	9.2%	10.0%	10.8%	11.5%	12.3%
2000km	A330	11.6%	12.6%	13.6%	14.5%	15.5%
	A321	7.2%	7.8%	8.4%	9.0%	9.6%

从表 5-14 可以发现，1000-2000km 航程下，为保持碳排放因子不变，A330、A321 经停 1 次较直达所需要的客座率上升的比例约为 7.2%-24.3%。为保持碳排放因子不变，同一机型、同一直达客座率下，航程越小，经停 1 次所需的客座率上升比例越高。例如，当 A321 型客机直达客座率为 75%时，1000km、1500km、

2000km 航程下经停 1 次所需客座率上升比例约为 16.1%、11.5%、9.0%。同一航程，同一直达客座率下，为了保持经停 1 次的碳排放因子与直达一致，大型飞机所需客座率上升的比例越高。例如，当直达客座率为 75%时，在 1000km 航程下，为保持碳排放因子不变，A330 客机经停 1 次较直达所需上升的客座率为 24.3%，而 A321 客机仅需 16.1%。与中机型相比，大型飞机在航程较短的情况下采用经停策略并不具备显著减碳优势，因此建议采用中机型开行经停航班。

从碳排放的角度来看，客座率的提升可以减少甚至抵消由经停导致的碳排放量增加。结合目前我国支线机场占比大、业务量少、能力利用率低的现状，建议在无直达高铁的城市间合理增设支线机场经停航班量，扩大客源，提高支线机场能力利用率。这不仅可以促进支线机场的发展，也可以满足旅客的出行需求，提升对区域经济发展与居民出行服务水平。

5.5 本章小结

本章主要分析了双碳目标下高铁与民航合理化客运结构对碳减排的影响，促进高铁与民航客运结构优化的措施以及支线机场发展经停航班的利弊分析，得到了以下结论：

(1) 针对我国高铁建成后，高铁与民航互补关系日益显著的背景，指出高铁与民航服务存在西部地区高铁与民航设施密度低和因衔接公交数量和效率较低、网络欠完善导致的能利用率低等问题，旅客服务水平和节能减排力度均有待加强。从节能减排的角度，民航向高铁转移 5%-10%的周转量，交通运输业可实现碳减排 8%-16%，具有较好的减排效果。同时，民航平均运距上升对碳减排有一定促进作用。现有周转量结构下，民航平均运距增加 5%，交通运输业碳减排量为 0.38%。为提高旅客服务水平和节能减排效果，提出了如下三项建议：① 发挥高铁与民航优势，提高既有设施利用率；② 做好高铁站与机场周边交通服务一体化接续设计，提高高铁与民航服务辐射力；③ 加快高铁与民航技术进步，降低运输碳排放因子。

(2) 分析我国高铁与民航票价区域特征，得出我国各区域高铁票价率在

0.40-0.44 元/km 之间，难以适应区域经济水平差异；民航支线机场票价略高于干线机场与枢纽机场；在民航折扣力度达到 50%以上时，民航经济舱票价率与高铁二等座票价率相当，民航票价具有较好竞争力等结论。同时，研究发现了高铁市场化程度较低，对乘客的优惠方式较少，竞争力和吸引力有待进一步提高。针对这一问题，从区域差异化定价、分时定价、分乘客群体定价、分速度等级定价等角度，提出了高铁票市场化改革建议。

(3) 经停航班是一种有效衔接支线机场与枢纽机场，并为支线机场提供长距离运输服务的方式。经停航班价格普遍低于直达航班，案例航线中最高优惠率可达到 64.96%，对比大型航空公司（东方航空、南方航空、中国国航）相近时段开行的直达航班与经停航班的票价与票价率可以发现，直达航班票价率通常高于经停航班，二者之比均大于 1.3，经停航班的性价比高于直达航班。经停航班飞行时间上较直达航班长 55-150min。从碳排放角度，当 A321 型客机直达客座率为 75%时，1000km、1500km 航程下为了保持经停 1 次的碳排放因子与直达一致所需客座率上升比例约为 16.1%、11.5%。因此，针对我国支线机场占比大、业务量少、能力利用率低的现状，建议在没有直达高铁的城市间合理增设支线机场经停航班量，扩大客源，提高支线机场能力利用率。

6 结论与建议

本项目为促进高速铁路与民航客运出行结构优化，助力双碳战略实现，调研了高铁与民航需求市场，从设施分布、设施利用率、接续条件等角度分析了高铁与民航供给水平与服务水平，其后测算了高速铁路与民航全过程的碳排放水平，并在双碳目标下提出了发挥高铁与民航优势的客运结构改革策略，针对性地提出了促进高速铁路与民航结构优化的票价策略、支线机场经营策略等建议。此外，项目组开展了一项关于“高铁与民航出行选择行为”的调查，共收集问卷 3526 份。具体得出了如下结论：

(1) 高速铁路与民航发展成为我国城际间客运交通的主要方式，二者形成较强的竞争互补关系。

随着高铁与民航基础设施完善、网络逐步加密，高铁与民航的客运量及周转量及占比都逐年稳步增长，其中高铁的增速更快。2021 年，高铁与民航两种运输方式承担了 28.5%的客运总量及 63.7%的客运周转量。2008 年高铁开通以来，与民航形成了较强的竞争关系，民航短距离运输向高铁转移，2013 年后高铁平均运距保持在 300-400 公里水平，民航平均运距由 2010 年的 1508 公里快速上升至 1774 公里，民航市场收窄。高铁在中短距离运输，民航在中长距离运输中的优势日益凸显，互补关系日益显著。

(2) 高速铁路与民航东、西部设施供给水平差异明显，对西部地区旅客的吸引力较低，既有设施未能充分利用导致运能浪费。

2019 年东部地区铁路及民航的人均出行次数显著高于西部地区，东部地区铁路人均出行次数均超过 3 次，西部地区三省的铁路人均出行次数在[1.7,2.4]次之间，西部地区旅客选择铁路与民航出行意愿相对较低。从设施水平角度，西部地区高铁网密度较低，机场数量虽较多但难以覆盖幅员辽阔的西部地区。西南、西北地区面积别高铁网密度为 25.00km/万 km²，13.08 km/万 km²，低于全国平均值 44.73 km/万 km²，远低于华东地区 160.19 km/万 km²，华中地区 113.83 km/万 km²。西部地区新疆、云南、四川机场数量较多，但西南、西北地区面积别机场

密度分别为 0.23 个/万 km^2 、0.16 个/万 km^2 ，仍低于全国均值 0.26 个/万 km^2 。此外，西部地区不仅供给水平较低，既有设施也未能得到充分利用。西部地区宝兰客专、贵广高铁（贵阳-桂林段）、南昆高铁等线路能力利用率不足 50%，远低于东部地区能力利用率超过 85% 的京广、京沪高铁。西部地区多支线机场，而支线机场能力利用率较低的现象较为突出，案例省份中 27.5% 的支线机场能力利用率低于 50%。

（3）东、西部地区高速铁路与民航周边公交配套设施存在差距，西部地区整体出行全过程平均速度较低。

东、西部地区旅客接续高铁站、机场的便捷程度有所差异，根据项目组问卷调查，西北地区旅客前往高铁站所需时间在一小时以上占比为 31.4%，前往机场所需时间在两小时以上占比为 30.1%，远高于华东地区（高铁站 14.6%、机场 10.3%）。从接续交通设置来看，西部地区非省会城市高铁站、机场衔接交通线路数量远低于东部地区部分城市，东部宁波站、日照西站衔接公交线路数量达到 44、28 条，而西部宜宾西站、广元站衔接公交数量低于 15 条。东部地区机场设有多条长途客运班线，以辐射周边县市，如温州龙湾国际机场设客运班线 15 条，西部地区机场则缺乏长途客运班线的配置。局限的公交衔接线路，易导致旅客在城市内需多次换乘才能到达高铁站、机场，或使得旅客转而选择乘出租车等衔接交通方式，增加出行费用。

考虑高铁站与机场接续时间差异，以广东省、甘肃省为例分析高铁出行占优距离。广东省高铁全程平均速度占优的距离区间范围为 [0,975] km，甘肃省为 [0,960] km，高铁优势范围相近。然而，甘肃高铁设计时速不超过 250 km/h，低于设计时速普遍高于 350 km/h 的广东省高铁。受限于甘肃省机场普遍距离市区较远，民航全程平均速度较低，才使甘肃省高铁优势范围与高铁相近。整体来看，西部地区接续环境较差，旅客出行全过程平均速度偏低。

（4）全过程高速铁路碳排放因子约为民航的 1/3，是重要的绿色交通方式。

高速铁路运输全过程的碳排放包括牵引阶段碳排放、站段系统碳排放及维修

养护系统碳排放，碳排放因子为 $30.48\text{gCO}_2/\text{人公里}$ ，其中牵引阶段的高铁碳排放因子为 $26.27\text{gCO}_2/\text{人公里}$ 。民航运输全过程的碳排放包括航空煤油炼油过程碳排放、飞机飞行活动碳排放及机场非飞行器排放源碳排放三部分，民航客运全过程碳排放因子约为 $106.6\text{-}112.9\text{gCO}_2/\text{人 km}$ 。

针对上述我国高速铁路与民航的运行现状与碳排放特征，为在双碳目标下实现客运结构优化，充分利用既有设施，发挥各自运输服务优势，更好服务于旅客出行，项目组提出如下建议：

(1) 发挥高铁与民航优势，提高既有设施利用率。

为适应西部地区地广人稀特点，应建立以“空铁联运”为核心的中长距离客运服务。西部地区高铁建设成本较高，部分区域高铁短期内难以覆盖，依赖支线机场提供服务，这要求高铁与民航加强合作以提供中长距离运输服务。建设以省会为中心的城市群“空铁联运”服务，充分发挥高铁短距离运输效率的同时，使枢纽机场惠及更大区域的旅客。从运营角度，制定时刻表互补的高铁列车和航班，做好客流需求预测，调整运营服务策略，适应区域客流特征；提供高效快捷的高铁站、机场接驳公交系统，以及空铁联运售票系统。

中短距离以高铁运输为主，民航运输为辅。民航缩减短途航线规模，优化航线组织。高铁应积极加强周边接续效率，推出符合西部地区经济水平的票价体系，充分发挥高铁在中短距离的便捷性、经济性优势，研判西部地区客运需求，欠发达地区高速铁路可以适当增加中短途列车的经停站点数，充分提高线路上座率及可达性，服务更大范围的旅客。在高铁尚未覆盖的区域，强化支线机场之间以及支线机场与枢纽机场之间的联系，引进低成本航空公司，形成轴辐式、蜘蛛网式、串联式等航线网络。充分发挥低成本航空公司的大运量、票价低和灵活性强等优势，提高民航运输方式市场竞争力。

(2) 做好高铁站与机场周边交通衔接组织，提高高铁与民航服务的市场覆盖范围。

首先，建议加强高铁与机场周边接续公交资源的配置。西部地区多数高铁站

列车服务频率低于中、东部地区，这既与其客运需求不足有关，也与服务覆盖不足有关。应加强高铁站与机场周边其他交通方式的接续组织，扩大市场覆盖范围，使高铁在中短距离出行中有更大的竞争力。高铁站、机场周边，应规划建设多方式、立体、集约的一体化接续设施。公交站、轨道交通与高铁站、机场有机融合，大型枢纽可试点高铁、城市轨道交通并线布置，公交换乘站点设置于枢纽建筑内或地下等集约化、一体化的接驳形式。

其次，建议将支线机场与城市间的大巴纳入运营补贴范畴。不少支线机场由于客流量不足，到城市间的交通缺乏机场大巴服务，乘客下飞机后经常被迫乘坐出租车、网约车等非公共交通方式，增加了出行费用。将支线机场与城市间的机场大巴纳入公共交通运营范畴，并享受政府运营补贴，从而完善高铁与机场的接续组织，形成一体化公交服务体系，可降低旅客出行全过程时间及费用，推动乘客更多选择高铁和民航出行，提高既有设施利用率和高铁与民航服务辐射力。

（3）加快高铁与民航技术进步，降低运输碳排放因子。

加快电力清洁化，降低煤电比重，推广清洁能源发电，促进电力结构低碳化，从根源上可以降低高铁碳排放因子，从而减少二氧化碳排放量。据项目组测算测算，在发电结构改善背景下 2030、2035 年我国高铁运行阶段碳排放因子分别为 17.9gCO₂/人公里、16.6gCO₂/人公里，较 2019 年(26.27gCO₂/人公里)分别下降 31.9%、36.8%。可以看出，发电结构调整能较大程度降低高铁牵引运行阶段碳排放因子。

应用航空低碳技术可以有效降低民航碳排放因子，比如长期使用可持续航空燃料、提升终端燃油产品能效、提高机场运行电动化智能化水平等措施。现阶段减少民航碳排放因子的方案是大力推进先进生物液体燃料、可持续航空燃料等替代传统燃油，提升终端燃油产品能效。长期来看，加强航空节能产品的自主创新和研发，积极研发新型低油耗发动机、新能源航空器、使用多元化绿色能源。

（4）高速铁路根据市场需求、出行群体实施更加灵活的差异化票价和多样化优惠策略。

考虑地区经济发展水平差异，实行分线差异化定价。高铁企业应研究客票特征历史数据，分析各区段列车上座率，充分考虑其他交通方式的竞争行为，充分发挥铁路运输准公益性特点，实施市场化的弹性票价机制，采用分地区定价、分时定价等适应客流需求和经济发展水平的票制策略，充分发挥西部能力富裕线路的运力，让利于民，促进西部社会经济发展。

根据出行时间规律，实行分时定价，用好低谷能力。为解决高铁高峰时段车次一票难求，低峰时段车次上座率低的问题。高铁企业应研究出台非高峰期折扣票价，对高峰期的部分车票加价销售，低谷优惠，通过“削峰填谷”的价格手段引导旅客错峰出行。此外，应根据旅客在不同季节、节假日出行规律，制定差异化票价政策，吸引旅客淡季出行，避免旺季过度拥挤。尝试周末、节假日期间执行与日常不同的票价，淡季视情况打折销售。

对于不同速度等级、购票时间提供差异化的弹性票价。据项目组调查研究，高收入群体对于高票价快车的接受度极高，低收入群体则更愿意选择低票价的慢车。高铁企业应研究适当提高快车的票价，降低慢车的票价，在保证运营收益的前提下，为乘客提供更加个性化的选择。此外，应推广预售优惠票，根据购票时间提供弹性票价。这有助于高铁企业把握客流需求，合理安排车次，提高列车上座率，减少运能、能源浪费。

针对不同出行群体，出台更多价格优惠策略。出台服务于商务、通勤、旅游等出行目的的差异化票价机制，如对通勤旅客提供月卡，为旅游旅客提供按时间的通票等。此外，针对特殊群体，应放宽优惠条件，扩大高铁服务的准公益性。

（5）扩大支线机场经停航班量，提高支线机场能力利用率。

经停航班票价率低，增加一次起降站点，能够较好服务于对出行时间要求较低的或低收入的旅客。从碳排放的角度来看，增加起降站点产生的客座率提升可以减少甚至抵消由经停导致的碳排放量增加。支线机场经营经停航班，有利于支线机场拓展航线配置，增加利用率，一定程度上服务于民航业碳减排。

因此，结合目前我国支线机场占比大、业务量少、能力利用率低的现状，建

议在没有直达高铁的城市间合理增设支线机场经停航班量，扩大客源，提高支线机场能力利用率。这不仅可以促进支线机场的发展，也可以满足旅客的出行需求，提升对区域经济发展与居民出行服务水平。

参考文献

- [1] 黄民:关于发展绿色铁路的思考[EB/OL]. (2021-11-18)
[2023-05-15].<http://www.railmetrochina.com/expo/%E9%BB%84%E6%B0%91%E5%85%B3%E4%BA%8E%E5%8F%91%E5%B1%95%E7%BB%BF%E8%89%B2%E9%93%81%E8%B7%AF%E7%9A%84%E6%80%9D%E8%80%83.html>.
- [2] 任南琪, 许志成, 鲁垠涛等. 铁路运营期碳排放特征及减排路径思考[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(07):1-6.
- [3] 崔占伟. 高速铁路运营阶段碳排放分析[D]. 石家庄铁道大学, 2019.
- [4] ACI. ACERT Version 6.0 User Manual. 2020.04
- [5] 中国民用航空协会. 中国机场碳减排调查和减排对策研究. 2014.11
- [6] Postorino M N, Mantecchini L. A transport carbon footprint methodology to assess airport carbon emissions[J]. Journal of Air Transport Management, 2014, 37(may):76-86.
- [7] 朱佳琳, 胡荣, 张军峰等. 中国航空器碳排放测算与演化特征研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2020, 44(03):558-563.
- [8] ICAO ANNEX 16 VOL III: AEROPLANE CO2 EMISSIONS. 2017.07
- [9] 王雅坤, 刘野. 旅客运输需求市场变化弹性分析[J]. 中国市场, 2020(12): 136+151.
- [10] U.S. Department of Transportation. National Transportation Statistics, Table 1-40:[EB/OL].(2022)[2023-05-10]<https://www.bts.gov/content/us-passenger-miles>
- [11] GOV.UK. Department for Transport statistics, TSGB0101[EB/OL].(2022)[2023-05-10]<https://www.gov.uk/government/collections/transport-statistics-great-britain>
- [12] 国土交通省. 交通関係統計資料
[EB/OL].(2022)[2023-05-10]<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/saishintoukeihyou.html>
- [13] 世界银行. 人口总数
[EB/OL].(2022)[2023-05-10]<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- [14] 王靖添, 闫琰, 黄全胜, 等. 中国交通运输碳减排潜力分析[J]. 科技管理研究, 2021, 41(02): 200-210;
- [15] 交通运输部规划研究院. 《交通领域落实双碳要求的挑战与任务》. 2021
- [16] 中国科学院. 《交通强国战略研究(第一卷)》. 2019
- [17] 牟振华, 李克鹏, 陈艳艳, 等. 基于系统动力学的高铁客运需求预测[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(01): 387-394.
- [18] 许绩辉, 王克. 中国民航业中长期碳排放预测与技术减排潜力分析[J]. 中国环境科学, 2022, 42(07): 3412-3424.
- [19] 吕晨, 刘浩, 徐少东等. 基于飞行阶段的精细化航空二氧化碳排放因子研究[J]. 气候变化研究进展, 2022, 18(02):196-204.
- [20] 张晔, 宋国华, 尹航, 徐双亿, 张泽禹. 综合交通运输系统碳排放预测的不确定性分析[J]. 交通运输工程与信息学报, 2023, 21(01):64-79.
- [21] Yu K M, Strauss J, Liu S L, et al. Effects of railway speed on aviation demand and CO2 emissions in China[J]. Transportation Research Part D Transport and Environment, 2021, 94(3):102772.
- [22] 吕晨, 张哲, 陈徐梅, 马冬, 蔡博峰. 中国分省道路交通二氧化碳排放因子[J]. 中国环境科

学,2021,41(07):3122-3130.

[23] 黄志辉,纪亮,尹洁,吕晨,王军方,尹航,丁焰,蔡博峰,严刚.中国道路交通二氧化碳排放达峰路径研究[J].环境科学研究,2022,35(02):385-393.

[24] 杨帆,张晶杰.碳达峰碳中和目标下我国电力行业低碳发展现状与展望[J].环境保护,2021,49(17):8-14.

[25] 刘洪铭.国际航空业2020年碳排放零增长目标下的碳减排路径思考[J].世界环境,2019(1):33-35.

[26] 乞孟迪,柯晓明,王殿铭.交通领域清洁化、低碳化发展趋势研究[J].石油石化绿色低碳,2019,4(2):1-11.

[27] 刘子钰,王基铭.我国绿色航空能源与减排降碳探索途径[J].当代石油石化,2022,30(11):1-7,13.

附录 调查问卷

高铁与民航出行选择行为调查

本问卷面向 22 岁及以上居民，是北京交通大学综合交通团队一项公益性研究的内容。我们承诺您参与本问卷不会泄露您任何个人隐私。感谢您的支持与合作！

1、您的年龄是？

- 22-30 岁
- 31-45 岁
- 46-60 岁
- 61 岁及以上

2、您个人年收入（税后）大致为：

- 6 万元及以下
- 6 万元-12 万元
- 12 万元-18 万元
- 18 万元以上

3、您的常住大陆地处于：

- 华中地区（含湖北、湖南、河南）
- 华东地区（含上海、江苏、安徽、山东、福建、浙江、江西）
- 华南地区（含广东、广西、海南）
- 华北地区（含北京、天津、河北、内蒙古、山西）
- 东北地区（含辽宁、吉林、黑龙江）
- 西北地区（含宁夏、新疆、青海、陕西、甘肃）
- 西南地区（含四川、重庆、贵州、云南、西藏）

4、您常住地属于：

- 省会城市或直辖市
- 地级市
- 县级市或县城
- 其他

5、您通常选择何种交通方式去往最近的高铁站？

- 出租车或网约车
- 公交车、地铁
- 私家车

6、您从家前往最近的高铁站所需出行时间为？

- 不超过半小时
- 半小时至一小时
- 一小时至两小时
- 超过两小时

7、您通常选择何种交通方式去往最近的机场？

- 出租车或网约车
- 公交车、地铁
- 私家车

8、您从家前往最近的机场所需出行时间为？

- 不超过半小时
- 半小时至一小时
- 一小时至两小时
- 超过两小时

9、根据您的体验，您认为高铁站周边公共交通的方便性为（打分）

很不方便 很方便

10、根据您的体验，您认为机场周边公共交通的方便性为（打分）

很不方便 很方便

11、您去某地有高铁、民航两种方式，高铁所需时间不超过多长时间时，您会优先考虑高铁方式？

- 3 小时
- 4 小时
- 5 小时
- 6 小时
- 7 小时

12、您去某个城市，有以下两个方案，您更愿意选择哪个方案？（假设价格相近）

- 乘高铁 5 小时，始发、终到城市内交通时间 1 小时
- 乘飞机 2 小时，始发、终到城市内交通时间 3 小时

13、您去某个城市，有以下两个方案，您更愿意选择哪个方案？

- 乘高铁 5 小时，票价 480 元
- 乘飞机 2.5 小时，票价 860 元

14、您乘高铁去某个城市，若有以下三趟列车，您更愿意选择哪趟列车？

- 列车运行时间 6 小时，票价 480 元
- 列车运行时间 5 小时，票价 580 元
- 列车运行时间 4 小时，票价 680 元