

重庆市居民出行碳排放资源利用效率研究

魏庆琦 陈佳列 肖伟

(1. 重庆交通大学管理学院, 重庆 400074;

2. 电子科技大学, 四川成都 610054)

【摘要】为促进我国城市低碳交通运输体系建设, 有必要研究城市居民出行碳排放资源利用效率。在构建城市居民出行碳排放资源利用效率评价模型的基础上, 对2004~2014年重庆市主城区居民出行碳排放量和碳排放资源利用效率进行测算与分析。研究结果显示: 重庆市主城区居民出行碳排放量逐年上升, 碳排放资源利用效率持续下降。这是由城市居民出行需求的增长和出行模式结构的恶化造成的。为了促进重庆市城市低碳出行体系的建设, 有必要在保障居民出行需求的基础上, 促进公交和轨道交通模式的发展, 通过模式结构优化提升重庆市城市居民出行碳排放资源的利用效率。

【关键词】城市居民出行; 碳减排; 资源效率分析; 结构优化

【中图分类号】F062.2 **【文献标识码】**A

【文章编号】1671-4407(2016)10-079-05

现代化建设与城市化发展造成了城市交通需求与资源环境之间的失衡。近年来, 我国城市交通低效率高排放问题进一步严峻, 为促进城市交通低碳发展, 必须分析具体城市居民出行特征, 并制定具有针对性的低碳交通发展策略。在对城市居民出行特征进行调查与分析的基础上, 提出具有针对性的策略, 是促进城市低碳交通发展的重要途径。资源利用效率分析广泛应用于产业经济分析, 其分析对象主要集中于资本、劳动力和能源等资源, 针对交通运输碳排放资源利用效率分析尚不多见。在交通运输碳排放研究领域, 主要的研究方法是区域交通运输碳排放量测算和影响因素分解研究, 其对象主要针对宏观交通运输部门, 而针对城市居民出行碳排放的分析也不多见。在有限的研究中, 刘蔚等测算了2000~2012年北京市居民出行碳排放的总量并对其驱动因素的影响力进行分析, 认为北京与上海居民出行碳排放的影响因素具有较大的差异。徐昔保等通过问卷调查, 对南京、宁波和常州等城市居民出行的碳排放情况进行了测算与比较研究。赵敏等对上海市居民出行碳排放进行了测算, 认为上海市居民出行碳排放增加的主要原因是出行模式结构的恶化。

从以上研究来看, 关于城市居民出行碳资源利用效率的实证研究仍存在以下问题: 现有研究集中于静态数据分析, 即历史数据的影响力测度, 缺乏较长时间段的动态分析, 获得的研究结论具有一定的历史局限性, 对城市居民出行碳排放资源利用效率变化原因的解释力度有限。

相关研究表明,不同时期、不同城市的居民出行碳排放资源利用率及其的影响具有较大差距。日前基于中国数据的相关研究较少,且多集中于北京、上海等人城市,缺乏中西部城市相关研究。国外研究无法代表国内现实状况。国内相关研究理论推导较多,实证分析比较缺乏,迄今为止,仅有数篇文章,且研究时间段较短、数据较为陈旧,缺乏基于长期、较新数据的实证研究。

为提升城市低碳交通体系治理策略的有效性,有必要针对我国具体城市的居民出行特性和碳资源利用效率进行研究,对其碳资源利用效率变化的原因进行分析。本文选择重庆市作为研究对象,基于 2004~2014 年时间序列数据,在对重庆市主城区居民出行碳排放资源利用效率分析,并从公交车、轨道交通等四种主要机动出行模式角度进行分类研究,为重庆城市低碳交通系统建设提供信息支持。

1 研究框架

本文研究框架如图 1 所示,以城市居民低碳出行为研究对象,对重庆市居民碳排放情况进行测算与与分析。首先在城市交通能耗与碳排放相关理论基础上,介绍本研究的方法与模型。然后再结合静态时序数据分析、城市居民出行碳排放情况测算,以及居民出行行为特征与碳排放景对比分析进行递进的实证研究,其中:时序数据分析主要基于重庆市城市居民交通出行统计数据,针对不同交通出行模式下的居民出行行为特征和分布进行比较分析,作为研究的基础;然后在城市居民出行碳排放测兑模型的基础上,结合能耗特征和 IPCC 指南提出适合重庆市居民出行实际排放因子等关键参数;接下来采用调查数据与权威统计数据测算重庆市居民出行碳排放量。最后将重庆市居民出行特征与碳排放情况相结合,进行综合分析,并提出具有针对性的重庆市低碳交通发展策略。

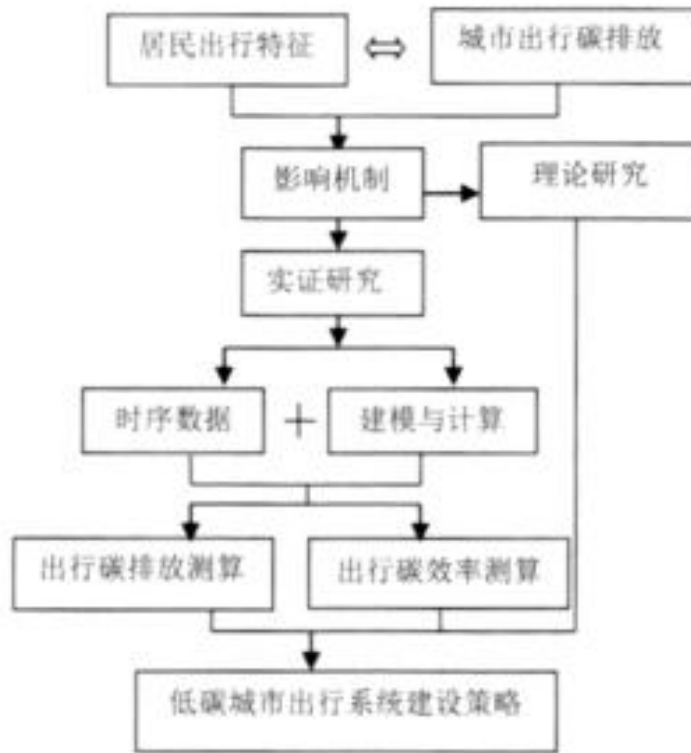


图1 研究框架

2 方法、模型与数据

2.1 碳排放测算模型

城市居民出行碳排放量测算是城市低碳交通发展研究的重要基础。影响交通运输碳排放测算准确性的主要因素是排放测算方法和排放因子的选择。自 20 世纪 70 年代起,许多研究机构和研究者都对交通运输大气污染物的排放进行过研究,所提及的排放测算方法也有所不同。但国际上公认的排放测算方法主要是 IPCC 方法和 EMEP(欧洲环境监测与评价计划)方法。尽管相关的方法众多,但归纳起来,交通运输大气污染物的排放测算方法主要有两大类:一类是自顶向下的方法(简单法);另一类是自底向上的方法(详细法)。

本研究结合自顶向下和自底向上两种测算方法,采用中观层面的测算模型,计算重庆市城

啦居民出行碳排放量。具体的计算公式如下:

$$E^{CO_2} = \sum_i FC_i \cdot EF_i \quad (1)$$

式(1)中, E^{CO_2} 表示 CO_2 排放量(ton); FC_i 表示某种交通模式 i 的交通量(km); EF_i 表示某种交通模式 i 的碳排放因子(ton/km); i 表示城市出行模式(如地面公交、出租车、私家车和轨道交通等)。

2.2 碳排放资源利用效率度量模型

过去与资源利用的研究更多地将资本和劳动要素等传统资源作为研究的重点,而资源环境研究领域也更为重视能源效率的研究,而忽视了对污染物排放资源的分析,同时,主流环境排污资源相关研究更注重水污染物、废气和固废等非均匀污染物,针对 CO_2 等均匀污染物的实证研究数量较少,少量相关研究中,大多数研究针对工业行业而非交通运输业,而交通运输业相关研究中,由于数据获取存在困难,城市居民出行碳排放资源利用效率研究更是寥寥无几。之前的碳排放资源利用效率研究中,通常使用碳排放量和行业年产出之比 m 表示碳生产率。但之前的研究虽然考虑到消耗碳排放资源产出行业终产品,以及该项投入产出效率的地域差异,但却没有对该值的变化趋势进行度量与分析,且研究期往往以自然年为主,难以排除由于研究期过短带来的误差。基于以上考虑,本文拟采用碳排放资源利用效率模型对同一个城市不同出行模式的碳资源利用效率进行测算,作为评价城市居民出行碳资源利用情况的指标。该模型表述如下:

$$C_i^{util} = \frac{\sum_t TD_{it}}{\sum_t E_{it}^{CO_2}} \quad (2)$$

其中: C_i^{util} 表示城市出行碳排放资源利用效率,单位为人次/kg CO_2 ; TD_{it} 表示城市居民出行量,单位为人次; $E_{it}^{CO_2}$ 表示城市居民出行碳排放量,单位为 kg CO_2 ; i 表示研究区域内城市居民出行模式,本研究共包含公交、轨道、出租车、私家车在内的4种城市主要机动出行模式; t 表示研究年度,本文研究期为2004~2014年。可以看出,该模型可用于测量和描述城市居民出行不同模式的碳排放资源投入产出效率差异。

2.3 数据说明

本文采用研究数据主要有重庆市历年(2004~2014年)不同出行模式下,城市居民出行量、交通运输基础设施建设情况、交通工具保有量,交通运输能耗量、城市交通出行排放因子等。数据分别来源于:《重庆统计年鉴》《重庆交通年鉴》《中国能源年鉴》统计数据、IPCC排放因子数据和重庆市规划局调查数据等。对于部分缺失数据,查阅相关参考文献进行补充。

2.4 排放因子

根据 IPCC、DavidCooper、EMEP 等的分析,由于最后燃料中所有的碳几乎完全氧化成为 CO₂,燃料的含碳量决定了其最终的 CO₂ 排放,而不是引擎或者燃烧技术。因此,一般认为不同交通运输模式的碳排放情况依赖于其能耗量,交通运输的碳排放因子主要取决于燃料的含碳量,在燃料类型确定的情况下,其碳排放因子大同小异。本研究在 IPCC 缺省排放因子的基础上,结合本研究,确定适合重庆市交通出行的碳排放因子。

重庆道路出行 CO₂ 排放因子见表 1,在测算时,结合 IPCC 缺省排放因子和重庆市规划局组织的实地调研数据,根据不同交通出行模式下的机动车保有量、单车平均里程数据、机动车能耗类型,以及单车单位里程耗能量等数据计算出公交车和出租车的排放因子,私家车的排放因子来自科技部调研数据。由于重庆市公交车和出租车基本全部使用天然气作为燃料,其 CO₂ 排放因子显著低于我国其他省市,而重庆市私家车广泛使用“93#”汽油作为燃料,其排放因子与全国平均水平无明显差异,故采用科技部数据。

由于重庆城市轨道交通能耗主要为电力,因此在计算其 CO₂ 排放因子时,必须考虑当年整个重庆市耗电的发电结构,根据历年《中国能源年鉴》和《重庆年鉴》相关数据,可获得历年重庆城市轨道交通耗电的火电比例,并计算出重庆城市轨道交通 CO₂ 排放因子(表 2)。由表 2 可见,虽然重庆城市轨道交通的总耗电一直在上升,但由于发电结构的优化,轨道交通 CO₂ 排放因子保持着震荡下降的趋势。

表1 重庆城市道路出行CO₂排放因子

出行模式	排放因子 /(kg/km)	来源
公交车	0.488	IPCC、重庆规划局
出租车	0.1474	IPCC、重庆规划局
私家车	0.220	科技部、重庆规划局

表2 重庆城市轨道交通CO₂排放因子

单位：kg/km

年份	耗电量 / 度	火电占用电量比例	CO ₂ 排放系数 /(kg/km)
2005	2 965 421	0.73	1.300
2006	7 897 266	0.81	1.421
2007	12 554 702	0.77	1.327
2008	14 306 693	0.62	1.032
2009	14 997 488	0.65	1.059
2010	16 141 759	0.66	1.058
2011	29 885 643	0.68	1.133
2012	87 389 836	0.57	0.885
2013	143 482 306	0.73	1.126
2014	185 450 881	0.69	1.051

3 重庆市居民出行碳排放

3.1 重庆市居民出行碳排放量

采用前文介绍的排放测算模型和修正后的排放因子，结合相关调查数据和统计数据，获得重庆市居民出行 CO₂ 排放数据。计算结果如图 2 所示。

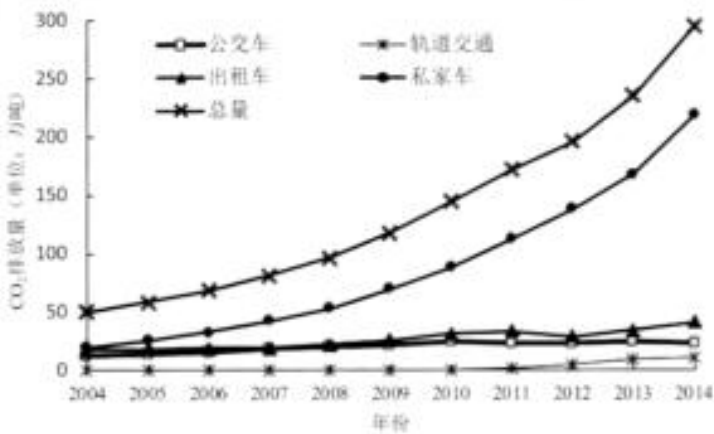


图2 重庆市历年居民出行碳排放量

由图 2 可见，2004~2014 年，重庆市居民出行碳排放总量逐年上涨，2014 年碳排放总量约为 2004 年水平的 584%。值得注意的是，在碳排放总量显著增加的同时，私家车碳排放量增长显著，但公交车、轨道交通和出租车的碳排放量增长并不明显。由此可见，重庆市居民出行碳排放量增长主要是由私家车出行模式所驱动的。

图 3 展示了 2004~2014 年重庆市私家车出行 CO₂ 排放屋:占总量的百分比变化情况，如图所示，重庆市私家车 CO₂ 排放逐渐成为重庆市居 K 出行碳排放的首要来源，2004 年重庆私家车 CO₂ 排放日占总量的 39.58%，似到了 2014 年已经占到 74.22%，即私家车出行产生的 CO₂ 排放相当于其余三种出行模式碳排放 M 总和的 3 倍。

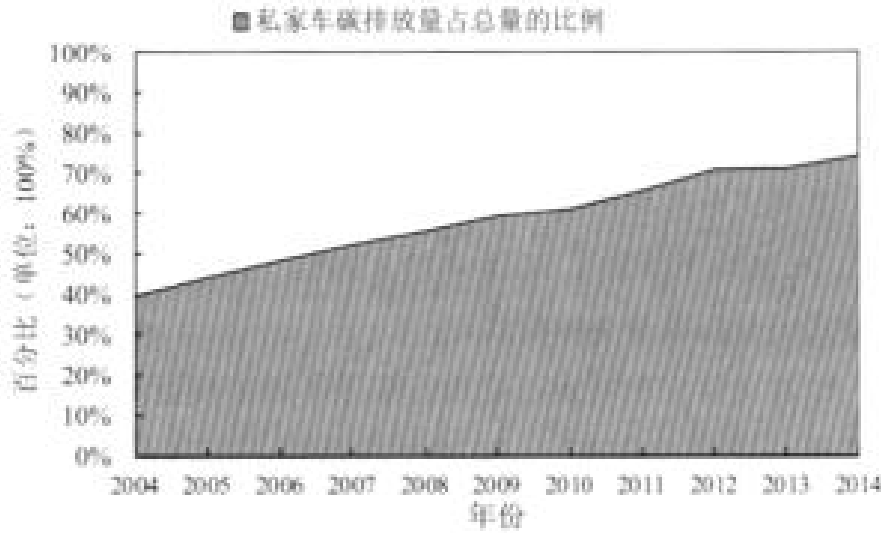


图3 重庆市历年私家车CO₂排放量占总量的百分比

3.2 重庆市居民出行碳排放资源利用效率

本研究主要考虑最庆市主城区居民机动出行不同模式的碳排放资源利用效率。由于重庆市主城区位于丘陵地带，当地居民没有将电瓶车和摩托车作为常规机动出行方式，当地道路也不设&行车道，因此在分析时不考虑电瓶车和摩托车出行。本文将重庆市居民机动出行方式划分为四种：公交车、轨道交通(地铁与轻轨)、出租车和私家车(非运营)。

根据重庆市规划 W 组织的大规模实地调查，重庆市居民出行量（人次）模式分担情况如图 4 所示。2007~2014 年，重庆市主城区居民出行模式结构出现了显著的变化。2007 年，主城 1>(居民主要采用公交车出行，其分担率约占 71.44%，但随后公交出行的分担率逐年降低，到 2014 年，仅为 50.40%，7 年间分担率下降/约 1/3。不过，虽然公交出行的分担率出现了以著下降，但其仍然是重庆市主城 K 居民出行的主要方式，公交模式承担的出行员约等丁其他-：种机动出行模式下出行量。

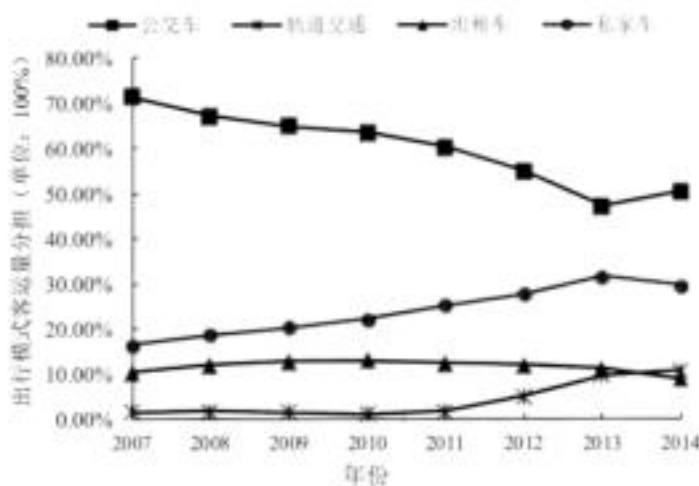


图4 重庆市居民出行模式结构

由图 4 所示, 2007~2014 年, 轨道交通出行和私家车出行的分担率显著上升, 分别从 2007 年的 1.61% 和 16.59% 上升到 2014 年的 10.91% 和 29.70%, 增长幅度分别为 578.3% 和 78.98%。其中轨道交通出行分担率的涨幅惊人, 但其分担率的变化以 2011 年作为分水岭, 2007~2011 年分担率均保持在 2% 以下, 略有震荡。2011~2014 年, 轨道交通出行的分担率显著上升, 年平均增长率约为 83.59%。私家车出行分担率的增长比较平稳, 年均增长率约为 8% 左右。

出租车作为四种出行模式中具有公交性质的小汽车出行, 其模式分担率出现了小幅下降, 其模式分担率从 2007 年的 10.36% 下降到了 2014 年的 8.99%。最终成为四种出行模式中分担率最小的模式。

由前文建立的城市居民出行碳效率评价模型和官方统计数据可测算出 2007~2014 年重庆市主城区居民出行四大主要机动模式的碳资源利用效率, 测算单位为人次/kgCO₂, 代表单位碳排放资源投入对应的城市居民出行产出。2007~2014 年重庆市主城区居民出行 CO₂ 排放效率计算结果如图 5 所示。

由图 5 可知, 重庆市主城区居民出行碳效率总体呈下降趋势, 从 2007 年的 2.68 人次/kg 下降到了 2014 年的 1.61 人次/kg, 下降幅度约为 40%。这说明重庆市主城区居民出行的碳排放资源利用效率趋于恶化。

就不同出行模式的碳排放资源利用效率而言, 公交出行远高于其他三种出行模式, 轨道交通出行的居中, 出租车和私家车的碳排放资源利用效率较低, 并以私家车出行的碳排放资源利用效率为最低。就碳排放资源利用效率变化趋势而言, 出现了显著的两极分化: 公交和轨道交通的碳排放资源利用效率虽然已经很高, 但二者仍在进一步震荡走高。而私家车和出租车的碳排放资源利用效率尽管已经很低, 其效率值却仍持续走低。2004 年, 公交车、轨道交通、出租车、私家车的碳排放资源利用效率分别为平均每人每次 8.37kg、3.64kg、1.17kg、0.85kg

，到 2014 年，这四种模式的碳排放资源利用效率 Li 经分别变化为平均每人 10.27kg、4.60kg、1.03kg 和 0.64kg，其变化率分别为 22.77%、26.27%、-12.31%和-24.49%。

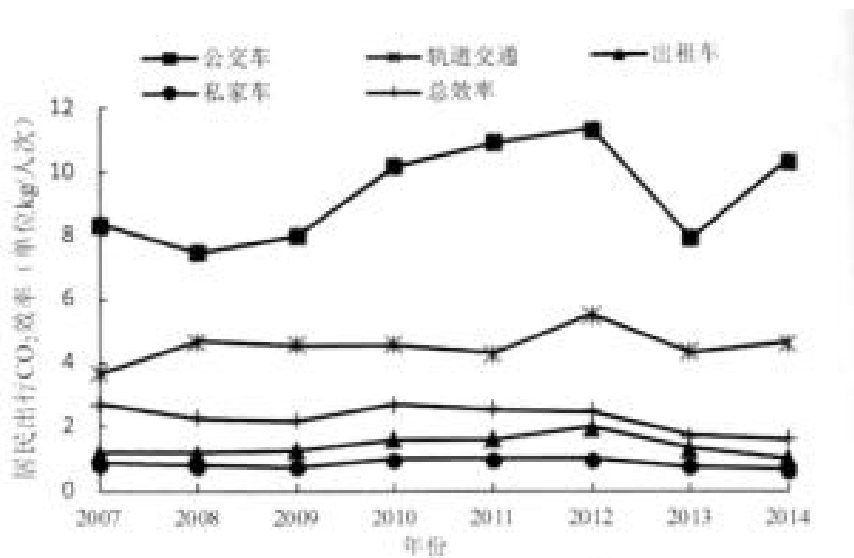


图5 重庆市居民出行CO₂排放效率

4 结论与启示

通过以上分析，可以得到以下结论：

(1) 总体而言，2004~2014 年，重庆市主城区居民出行 CO₂ 排放量显著上升，从 2004 年的 50.52 万吨增长到 2014 年的 294.79 万吨，增幅达到惊人的 483.54%。伴随着碳排放总量剧增的是，重庆市主城区居民出行也出现了显著的上升，2014 年城市居民机动出行量约为 47.39 亿次，约等于 2004 年水平的 316.32%。从碳效率角度来看，重庆市主城区居民出行碳效率逐年恶化，由于四种出行模式采用的燃料并没有发生变化，因此，重庆市主城区居民出行碳效率的恶化完全是由出行模式结构恶化造成的。虽然碳效率较高的轨道交通出行模式分担比率在 2011 年后出现了明显的上升，但是在碳效率最高的公交出行分担比率显著下降，碳效率最低的私家车出行分担比率逐年上升的双重作用下，导致了重庆市主城区居民出行碳效率的显著下降。可以说，2004~2014 年重庆市主城区居民出行碳效率的降低完全是出行模式结构持续恶化造成的。

从公交出行来看，2004~2014 年，重庆市主城区居民出行 CO₂ 排放量增长了 86.13%，出行量增长了 96.76%，但其出行模式分担率却出现了显著的下降。这是因为重庆市主城区居民公交出行的出行量虽然出现/增长，但其增长速度却远不及出行总量的增长。与此同时，公交出行的碳资源利用率上升，公交出行的环保性进一步提升。这说明公交出行作为一种具有较高碳效率的出行模式，在近 10 年间虽然有一定发展，但仍有巨大的发展空间。

与公交出行不同的是，轨道交通作为一种碳资源利用率较高的出行模式，近 10 年来取得了良好的发展。一方面，其碳排放资源利用效率逐年增加，另一方面，其出行 S 显著上升。这表明轨道交通作为一种新兴的碳高效出行模式，在实际生活中也获得/出行者的青睐。轨道交通的发展，成为 r 重庆市主城区居民出行碳效率提升的 M 大贡献者。同时，随着重庆市轨道交通网的进步一建设与完善，轨道交通模式对主城区居民可持续出行的贡献将进一步提升。于公交出行相比，轨道交通的碳资源利用效率较低，这是由于其动力主要采用电力，而重庆市和我过发电结构中火电的比例较高决定的。若今后我国发电结构中火电比例 F 降，则轨道交通的碳资源利用效率将进一步降低。

2004~2014 年，出租车出行的增长最为缓慢，10 年间仅增长了 62.52%，其分担率下降了 13.25%。与此同时，出租车的碳资源利用效率下降了 12.31%，由于出租车平均日载客量以及燃料并没有出现显著变化，可以认为其碳资源利用效率的下降与重庆市主城区十年间道路交通拥堵状况的恶化存在一定关系。

私家车出行作为近十年来出行量增长最为迅猛的出行模式，直接导致了重庆市主城区居民出行结构的恶化和碳排放资源利用效率的降低。2014 年，重庆市主城区私家车拥有量为 73.4 万辆，而 2003 年仅为 5.9 万辆，增长率约为 1144.07%，受此影响，私家车出行的出行 M 也出现了显著增长。与此同时，私家车出行的碳资源利用效率下降，2014 年私家车出行碳资源利用效率相比 2007 年水平增长了 9.94%。由于私家车出行的载客率和燃料并未发生显著变化，也可以认为其碳排放资源利用效率的下降与交通拥堵造成的出行平均速度降低具有一定联系。

综上所述，2004~2014 年，重庆市主城区居民出行碳排放量、出行量都出现了显著上升，同时碳排放资源利用效率逐渐降低。虽然四种模式的年出行量均有增加，但出行结构进一步恶化，公交出行分担率显著降低，而私家车出行比例显著增加。虽然公交和轨道交通的碳资源利用效率上升了 25%左右，但由于其出行分担比率的 M 著下降，致使重庆市主城区居民出行平均碳资源利用效率下降了 40%。这说明重庆市主城区居民出行碳效率降低的主要原因是出行模式结构的恶化。过去 10 年间，为了提高重庆市居民出行碳资源利用效率，当地政府采取了一系列政策手段，如：改善能源结构，要求公交车和出租车采用天然气和电能等碳排放因子较低的燃料作为动力；促进公交和轨道交通发展，大力增加新的公交站场、线路、车辆，以及促进轨道交通建设。这些措施获得了巨大的减排成果，其中轨道交通在 2011 年后获得了井喷式的发展。但就实地调研数据显示，由于重庆市主城区居民可支配收入的增加，公交出行模式的竞争力正在逐年减弱，而私家车出行的吸引力却稳定上升。因此导致了重庆市主城区居民出行模式结构的恶化和碳排放资源利用效率的下降。

因此，为了扭转重庆市居民出行碳排放资源利用效率的恶化趋势，促进重庆市城市交通低碳发展，有必要对出行模式结构的碳减排能力进行挖掘，从结构优化角度入手，促进重庆市主城区居民出行碳减排。但是城市居民出行系统的决策者并不是政府和管理机构，而是系统中每一位出行者，政府颁布的政策和制度并不一定能够得到普通出行者的正面响应。因此在设计城

市出行结构优化政策时,应当充分研究相关政策和被出行者的接受程度,以吸引更多出行者主动采用碳排放资源利用效率较高的交通模式,达到通过城市出行结构优化促进城市交通出行碳减排的目的。由于篇幅所限,如何通过引导出行者的行为达到整个城市交通出行系统的结构优化和低碳发展是本研究下一步工作方向,今后还将加强交通运输行为调查、结构优化策略有效性测算等方面的研究,以提升城市交通出行结构优化政策的有效性,促进城市交通低碳发展。

参考文献:

[1]Li W. The impact of economic reform on the performance of Chinese state enterprises, 1980-1989[J]. Journal of Political Economy, 1997, 105(5):1080-1106.

[2]杨良杰,吴威,苏勤,等.江苏公路交通运输、能源消费碳排放及脱钩效应[J].长江流域资源与环境,2014(10):1383~1390.

[3]刘蔚,郭彩云,陈纪瑛.中国城市居民出行CO₂排放特征及影响因素[J].北京理工大学学报:社会科学版,2015(1):16~20.

[4]徐苻保,陈爽,杨桂山.长三角地区城市居民出行交通碳排放特征与影响机理[J].长江流域资源与环境,2014(8):1064~1071.

[5]赵敏,张卫国,俞立中.上海市居民出行方式与城市交通CO₂排放及减排对策[J].环境科学研究,2009(6):747~752.

[6]陈诗一.中国碳排放强度的波动下降模式及经济解释[J].世界经济,2011(4):124~143.

[7]徐大丰.碳生产率的差异与低碳经济结构调整—基于沪陕投入产出表的比较研究[J].上海经济研究,2012(11):55~64.