

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.03.025

城市交通碳排放分析及交通低碳发展模式 ——以上海为例

苏城元, 陆 键, 徐 萍

(上海交通大学 交通研究中心, 上海 200240)

摘要: 为了有效减缓我国城市交通因城市化、机动化的快速推进所导致的 CO₂ 等温室气体排放量不断急剧增加的趋势, 构建以低碳、绿色、环保、高效、低耗、安全为特征的城市低碳交通发展模式。以上海市为例, 采用了 IPCC2006 中的碳排放计算公式, 及运用基于我国燃烧热值的 CO₂ 排放因子, 统计分析了城市交通 CO₂ 排放现状, 并将其结合城市交通结构进行了相应的分析。研究结果表明: 私家车是城市交通能源消耗的较大增长源, 同时也是城市交通 CO₂ 排放的较大贡献者。最后, 为了短期内尽快转变城市交通发展方式, 快速有效地构建城市交通低碳发展模式, 以减少能源消耗及 CO₂ 排放, 提出了以慢行交通、公共交通替代私家车出行的减排途径; 并通过情景分析评估了不同减排策略的减排效果, 为发展以公共交通为主导的交通模式、及节能减排的实施提供了理论依据。

关键词: 交通工程; 低碳模式; 碳排放; 城市交通; 情景分析

中图分类号: X734.01; U491.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2012) 03-0142-07

Analysis of Urban Transport Carbon Emissions and Low-carbon Development Mode ——A Case Study of Shanghai

SU Chengyuan, LU Jian, XU Ping

(Transportation Research Center, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to effectively slow down the constantly and quickly increasing trend of China's urban transport emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases due to the rapid progressing of the urbanization and motorization, we need to build a low-carbon urban transport development mode, whose characteristics are low carbon emission, green, environmental friendly, efficient, low energy consumption and safe. Taken Shanghai as an example, by using the carbon dioxide emissions' calculation formula of the IPCC 2006 and carbon dioxide emission factors based on China's combustion heat values, the status of urban transport's carbon dioxide emissions was analyzed statistically. Then this emission status was analyzed combined with urban traffic structure. The results show that private car is a larger growth source of urban traffic energy consumption and a larger contributor of carbon dioxide emissions in the urban transport. Finally, in order to change the urban transport development mode as soon as possible in the short term to achieve the low-carbon urban transport development mode rapidly and to reduce energy consumption and carbon emissions, it is proposed to replace private cars with slow traffic and public transport as effective ways to reduce carbon emission. The effects of the different emission reduction policies were also evaluated by scenario analysis. The research provided a theoretical basis for developing public transport as the leading traffic mode and implementing energy saving and emission reduction.

收稿日期: 2011-11-03

基金项目: 上海交通大学海洋工程国家重点实验室项目 (GKZD010027); 国家自然科学基金项目 (51078232/E0807); 上海交通大学文理交叉专项研究课题 (11JCY06)

作者简介: 苏城元 (1985-), 男, 云南保山人, 硕士研究生. (superbsu@126.com)

Key words: traffic engineering; low-carbon mode; carbon emission; urban transport; scenario analysis

0 前言

随着我国经济的快速发展,伴随而来的是快速的城市化与机动化,我国城市交通的发展正面临着严峻的挑战:曾经的自行车王国正在慢慢的逝去,机动化的快速推进降低了自行车、步行等慢行交通方式出行的安全性,越来越多的人正在放弃选择慢行交通出行。同时,随着化石燃料等资源的大量消耗,城市污染、环境恶化、能源危机、全球变暖等一系列环境问题正向我们逼近。是仍然坚持传统的发展模式,继续不断的延长道路,加宽路面呢?还是改变传统的发展理念,发展以公共交通为主导的交通模式呢?

现如今,世界上超过一半的人生活在城市,他们所排放的温室气体占据了总的人为产生的温室气体排放量的80%^[1]。英国、日本等国均制定了相应的减排计划,尤其将交通部门作为重点的减排部门,以减少CO₂等温室气体的排放。英国作为世界上第一个提出低碳经济理念的国家^[2],其交通部在2007年发布的《低碳交通创新战略》^[3]一文中又提出了今后实现低碳交通的各种低碳创新技术及政府政策方面的一系列导向措施,其中分别针对公路、航空、铁路、水运提出了近期可以实现的技术及未来的低碳交通技术的研究方向。并且建立了完善的减排政策措施体系,包括制定了《气候变化方案》;制订气候变化税等经济政策,推动建立全球碳交易市场;加大对可再生能源和低碳技术的投入;同时强调建筑和交通等重点部门的减排^[4]。日本在《日本低碳社会模式及其可行性研究》^[5]中提出了到2050年CO₂排量将在1990年水平上降低70%为目标的低碳社会发展模式,其中在城市交通领域方面提出了通过提高土地利用率,强化城市功能,将交通结构转向以公共交通为主导模式的交通发展模式。构建城市交通的低碳发展模式已经成为当今世界各国研究的热点。

城市交通碳排放量将随着社会经济活动的不断增多、城市空间的日益扩张及汽车保有量的持续增长而快速增加。节能减排是我国作为负责任大国的义务,同时也是落实可持续发展观的需要,更为重要的是可以通过节能减排,转变我国能源结构,提高能源安全水平。城市交通在有效减少CO₂排放方面将有很大的发展空间。首先,当前我国交通行

业能源利用效率与世界先进水平相比明显偏低,例如载货汽车百吨公里油耗比国外先进水平高30%左右^[6],我们可以通过采用新技术提高交通工具的能源利用效率;其次,在我国城市化推进的过程中,优化城市布局,提高土地利用率,及转变传统的城市交通发展模式方面也大有可为。此外,我国大中城市空气质量不断恶化与机动车保有量迅速增加有直接关系,机动车所排放的尾气引起的污染已成为大中城市空气污染的重要污染源^[7]。因此,构建以低碳、绿色、环保、高效、低耗、安全为特征的低碳交通发展模式是我国城市交通发展的必然选择之一。本文将通过对城市交通CO₂排放量的统计分析,试图找出最大的碳排放源;并针对其提出行之有效的低碳发展路径,以构建我国城市交通的低碳发展模式。

1 碳排放统计方法

1.1 碳排放计算公式

构建低碳交通体系,首先需要统计出城市交通的碳排放量,并以此作为分析未来城市交通低碳发展的相关依据。在IPCC 2006^[8]中给出了“由上而下”的统计各个部门(或行业)所排放的CO₂计算公式:

$$T_{CO_2} = \sum_{i=1}^n F_i E_i, \quad (1)$$

式中, T_{CO_2} 为CO₂的排放量; F_i 为第*i*种燃料的CO₂排放因子; E_i 为第*i*种燃料消耗量; n 为某CO₂排放部门(或行业)总共消耗了*n*种燃料。

式(1)通过对每种燃料总的消耗量乘以该种燃料的CO₂排放因子获得单一燃料所排放的CO₂量后,再将某部门总共消耗的*n*种燃料的CO₂排放量进行求和,便可获得该部门总的CO₂排放量。这种计算方法简便,明晰,易于操作,已经广泛的被国际社会所认可。上式中 F_i 的值可以从IPCC推荐的碳排放因子表中获得,见表1。表1中每种燃料均有不同的CO₂排放因子置信区间是因为每种燃料在相同的燃烧条件下,会受到随机因素的干扰表现出不同的燃烧特性,从而服从一定的分布特征。从其频率直方图中可以看出其中值,及一定的置信区间。为了便于计算,我们选用中值作为计算过程中的缺省值。

另外一种统计CO₂排放量的方法便是“由下而上”的测算方法。例如,针对城市交通部门,IPCC 2006^[8]中也给出了相应的计算公式:

$$T_{CO_2} = \sum_{i,j,t} Veh_{i,j,t} \times D_{i,j,t} \times C_{i,j,t} \times F_{i,j,t}, \quad (2)$$

式中, T_{CO_2} 为交通部门的 CO_2 排放量; $Veh_{i,j,t}$ 为车辆类型 i 的数量, 对于道路类型 t 使用燃料 j ; $D_{i,j,t}$ 为每种车辆类型 i 某段时间内行驶的距离, 对于道路类型 t 使用燃料 j ; $C_{i,j,t}$ 为车辆类型 i 的平均燃料消耗, 对

于道路类型 t 使用燃料 j ; $F_{i,j,t}$ 为车辆类型 i 的 CO_2 排放因子, 对于道路类型 t 使用燃料 j ; i 为车辆类型 (如小汽车、公共汽车、摩托车等); j 为燃料类型 (如汽油、柴油、天然气等); t 为道路类型 (如城市、农村等)。

表1 IPCC推荐的 CO_2 排放因子表⁸

Tab. 1 Carbon dioxide emission factors recommended by IPCC 2006

排放气体	燃料类型	缺省净发热值/ (TJ·Gg ⁻¹)	碳排放因子/ (kg·GJ ⁻¹)	缺省氧化碳 因子	有效 CO_2 排放因子/(kg CO_2 ·TJ ⁻¹)		
					缺省 CO_2 排放因子	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
CO_2	原煤	28.2	25.8	1	94 600	87 300	101 000
	燃料油	40.4	21.1	1	77 400	75 500	78 800
	(车用) 汽油	44.3	18.9	1	69 300	67 500	73 000
	(航空) 煤油	44.1	19.5	1	71 500	69 700	74 400
	柴油	43.0	20.2	1	74 100	72 600	74 800
	其他石油制品	40.2	20.0	1	73 300	72 200	74 400

1.2 适用于我国燃烧热值的碳排放因子

由于目前我国交通部门的能源利用效率与国外存在一定的差距, 故不宜直接采用表1中的数据测算我国交通部门的 CO_2 排放量。应用 IPCC 2006 介绍的方法, 并结合收集到的我国能源统计方面的数据, 主要参阅 2010 年中国统计年鉴, 推算出了基于我国能源平均低位发热量的不同燃料的碳排放因子。然而, 国内统计年鉴中的相关能源消耗量的数据中并未指明具体燃料种类, 只是粗略地列出了原煤、燃料油、汽油、柴油、煤油等, 并未具体指明是航空汽油, 还是车用汽油等小的分类。但是原煤、燃料油主要是用于渡轮等市内水路运输所消耗的能源; 汽油、柴油主要是公路运输所消耗的能源; 煤油主要是航空运输所消耗的能源。因此, 在测算我国交通部门 CO_2 排放量时, 本文将默认选取车用汽油、车用柴油、航空煤油的 CO_2 排放因子为我国统计年鉴中汽油、柴油、煤油等燃料的 CO_2 排放因子, 如表2所示。

表2 适用于我国燃烧热值的 CO_2 排放因子表

Tab. 2 Carbon dioxide emission factors based on China's combustion heat values

排放 气体	燃料类型	中国热值		CO_2 排放因子/ (kg CO_2 · tce ⁻¹)
		平均低位发热量/ (kJ·kg ⁻¹)	折标准煤系数/ (kgce·kg ⁻¹)	
CO_2	原煤	20 908	0.714 3	198.04
	燃料油	41 816	1.428 6	324.06
	(车用) 汽油	43 070	1.471 4	298.84
	(航空) 煤油	43 070	1.471 4	308.33
	柴油	42 652	1.457 1	316.44
	其他石油制品	40 200 *	1.200 0	257.79

注: *取 IPCC 中缺省值; 中国热值来源于 2010 年中国统计年鉴, 其他数据根据表1 计算所得。

2 碳排放现状分析

2.1 交通部门能源消耗统计

在统计测算上海市交通部门的 CO_2 排放的数据中存在一些问题, 比如国内的能源统计年鉴分类标准跟国外的不一样, 国内往往仅将交通运输、仓储与邮电的能源消耗统计在一起, 因此推算出来的碳排放数据也仅仅是统计了从事社会营运的交通运输企业的能源消耗数据。通过查看国民经济行业分类标准^[9], 其中仓储业指专门从事货物仓储、货物运输中转仓储, 以及以仓储为主的物流送配活动; 邮政业包括国家邮政 (指国家邮政系统提供的邮政服务) 及其他寄递服务 (指国家邮政系统以外的单位所提供的包裹、小件物品的收集、运输、发送服务)。所以针对我国能源统计年鉴中的交通部门能源消耗数据, 可以理解为狭义的交通部门的能源消耗及相应的 CO_2 统计量, 即国内能源统计年鉴中交通部门的能源消耗仅仅统计了从事交通运输企业的能源消耗量, 未包括其他非交通运输企业及社会非营运车辆的能源消耗量^[10-11]。因此, 在应用“自上而下”的碳排放统计计算公式 (1) 来进行测算某城市整个交通部门 CO_2 排放量的前提是需要获得相对准确的能源消耗量统计数据, 故除了从统计年鉴中获取该城市交通能源消耗量外, 还需参考其他相关文献资料。

2.2 交通部门碳排放统计

依据 1.1 节中的 CO_2 排放统计换算公式 (1), 1.2 节中的适用于我国燃烧热值的碳排放因子, 及上海市统计年鉴中的相关数据 (图 1, 资料来源:

1998—2006 年上海统计年鉴),并结合历年上海市综合交通年度报告^[2]中的能源消耗量,获得了上海市历年交通部门 CO₂排放量,如图2所示。为了检验相关数据计算结果的有效性,可以参阅其他文献进行比较。以2005 年上海市交通部门的 CO₂排放量为例,本文计算结果为近 700 万 t 与文献^[10]中的 741 万 t 接近,说明统计结果是相对准确的。

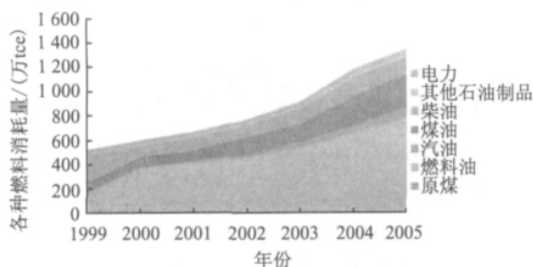


图1 上海市历年交通能源消耗量

Fig.1 Transport energy consumption in Shanghai over the years

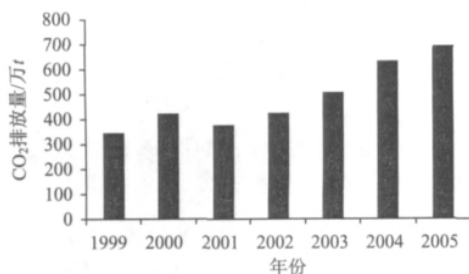


图2 上海市历年交通部门 CO₂排放量

Fig.2 Shanghai transport carbon dioxide emissions over the years

城市交通是城市经济发展的基础,是人与物流动的基石。同时,也不可避免地因交通需求的增加,人与物的流动所导致的 CO₂排放量也不断增加。在图1、图2中分别可以看出,上海市交通部门能源消耗量及 CO₂排放量总体上是不断快速地增长。尤其是燃料油、煤油、汽油的增长迅速,而燃料油消耗的增长主要来源于轮渡等水运交通需求的增长;煤油消耗量的增长主要来源于航空运输的发展;汽油消耗量的增长则主要来源于小汽车的保有量不断增加。水运交通已是较为低碳的交通方式;航空运输量的增加一定程度上反映某一地区经济发展活跃程度,这也是上海交通部门未来 CO₂排放量的快速增长点之一。

3 低碳发展模式分析

在对气候变化及其对人类生存严重影响的认识不断加深的背景下,低碳交通以节约资源和减少排

放、实现社会经济的可持续发展和保护人类生存环境为根本出发点,根据各种运输方式的现代技术经济特征,采用系统调节和创新应用绿色技术等手段,实现单种运输方式效率提升、交通运输结构优化、交通需求有效调控、交通运输组织管理创新等目标,最终实现交通领域的全周期全产业链的低碳发展,促进社会经济发展的低碳转型^[3]。此概念从低碳交通的产生背景、实现途径、发展目标等方面全面地解释了低碳交通的内涵。

在未来 50 a 里,也就是 2050 年前,以石油为基础的燃料依旧在交通部门占居主导地位^[4],而最终氢将成为主要的交通能源^[4-15]。本文将从减少汽油、柴油等化石燃料消耗的角度出发,提出上海构建低碳交通战略的有效措施。

3.1 各种交通方式能源消耗及碳排放状况

首先,通过图2中上海市历年碳排放统计中,可以看出上海市交通部门能源消耗量及 CO₂排放量总体上快速地增长。其次,在机动车拥有量及其构成方面,在图3中可以看出,上海市民用机动车总量是逐年递增的。从2004年开始,摩托车的拥有量基本上保持不变。载货汽车拥有量略微增加,拖拉机的拥有量也基本上保持不变,但是载客汽车中的小汽车增长量非常迅速。再次,在居民出行分担率方面,2005年以来上海市非机动车出行分担率有所下降,由2005年的60%下降至2007年的57%,机动交通则从16%增至20%,公共交通由24%略微下降至23%^[10,12]。最后,在不同交通方式能源消耗及 CO₂排放方面,小汽车是每公里人均耗能最多的交通工具,达到了 2 795.1 kJ^[14];同时,小汽车也是每公里人均 CO₂排放量最多的交通工具,详见表3所示。

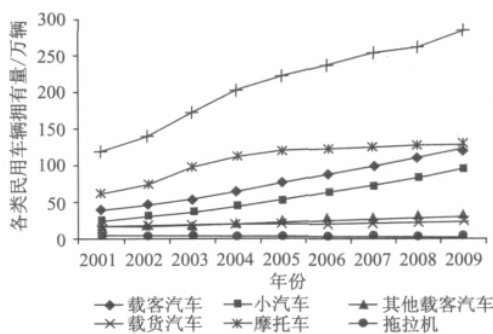


图3 上海市历年民用机动车辆拥有量

Fig.3 The amount of civilian motor vehicles in Shanghai over the years

资料来源:2003—2010 年上海统计年鉴

表3 不同交通方式能源消耗及排放物比较^[4]Tab. 3 Comparison of energy consumption and emission by different transport modes^[4]

交通方式	自行车	步行	摩托车	小汽车	公共汽车	地铁
能耗/ $[kJ \cdot (人 \cdot km)^{-1}]$	63.84	328.86	1 495	2 795.1	714	322.4
以自行车能耗为1的 各方式能耗比	1	5.2	23.4	43.8	11.2	5.05
以公共汽车为1的废 气总排放量比	0	0	27.5	19	1	0.7
CO ₂ 平均排放量*/ $[g \cdot (人 \cdot km)^{-1}]$	0	0	-	133.9	19.4	4.7

注: * 取自 1995 年日本全国客运 CO₂ 平均排放量。

因此,综合以上总的能源消耗的增长、机动车构成结构、居民出行分担率及各种交通工具的能耗与 CO₂ 排放比较等方面的分析,我们可以看出汽油、柴油等能耗的增加量及 CO₂ 排放量的增加量均主要来自于小汽车的增加量。因而,小汽车的快速增长是历年 CO₂ 排放量快速增长的主要贡献者之一。此外,从表 3 中可以看出,公共汽车、地铁等公共交通工具单位里程人均 CO₂ 排放要比小汽车低很多。

3.2 低碳交通发展途径

为了有效地减少化石燃料等能源的消耗及 CO₂ 的排放,从实际情况出发,首先需要对实现低碳交通发展模式的可行性进行分析。在英国,公路部门是交通部门中最大的碳排放源,同时也是交通部门未来几十年中最具潜力的减少 CO₂ 排放量的部门^[5]。结合我国各城市交通部门的碳排放情况,公路交通部门也是我国交通部门中最大的碳排放源。于是,本文将针对我国城市交通的具体情况,短期内要实现减少交通部门的碳排放及化石燃料的消耗并且产生好的效果,可以从制定相应的交通行政措施,转变居民的出行方式或者减少交通需求,便可达到较好的减排效果。而其他的减排途径,如从土地规划方面构建多卫星城市,可以根本性地减少交通需求;从新能源新技术方面发展清洁动力的汽车;从新技术方面推广使用 CSS (CO₂ 封存技术) 技术等等,短期内均难以获得较好的效果。

因此,短期内要实现城市交通由传统发展模式向低碳发展转变,需要采取一定的出行导向措施,如发放公共交通补贴,提升汽油价格,进一步完善公共交通体系并提高公共交通的舒适度与可达性,进而提倡居民低碳出行——选乘地面公交、地铁、轻轨等公共交通或者近距离范围出行时选择自行车或步行。这样既不影响当地的经济发展,又能有效地减少城市交

通 CO₂ 排放量。在文献 [7] 中提出了每月少开一天车、以节能方式出行 200 km、选购小排量汽车、选购混合动力汽车、科学用车并注意保养等减排措施。这些减排措施都是很有效的,都能在短期内就达到很好的节能减排效果。

目前,相对国内其他城市,上海已经基本上构建了较为完善的以公共交通为主体的综合运输体系,其中公共交通包括地面公交、地铁、轻轨、出租车、磁悬浮、轮渡等。因此,在参阅文献 [7] 提出的低碳出行方式的基础上,结合上海交通发展的实际情况,我们可以采取以下措施: (1) 小汽车限行; (2) 大力推广公共交通,如地铁、轻轨等轨道交通出行; (3) 大力推广步行、自行车等慢行交通的出行方式,以减少或者减慢小汽车的增加所引起的 CO₂ 排放量的增量,具体措施及减排效果见表 4 城市交通低碳出行情景分析。表 4 中减排私家车参与数量依据相关汽车保有量制定;其他数据参照《上海市第 3 次综合交通调查报告》^[8] 中的数据,以小汽车每车日均行驶里程约 70 km,居民出行强度为每天 2.21 次,出行距离为 6.9 km/次及应用表 3 中的数据依据 1.1 节中碳排放计算公式(2)进行测算。

情景 I: 相对高碳出行模式,要求私家车车主适度减少小汽车的使用。

(1) 在小汽车限行方面: 每月限行小汽车 4 d; (2) 在大力推广公共交通,如地铁、轻轨等轨道交通出行方面: 每月选乘地面公交汽车出行代替小汽车出行 50 km,每月选乘地铁等轨道交通出行代替小汽车出行 100 km; (3) 在大力推广步行、自行车等慢行交通等出行方式方面: 每月选择慢行交通方式出行代替小汽车出行 50 km。此外,要求有 100 万辆小汽车车主参与此方案。

情景 II: 相对中碳出行模式,要求私家车车主尽量减少小汽车的使用。

(1) 在小汽车限行方面: 每月限行小汽车 8 d; (2) 在大力推广公共交通,如地铁、轻轨等轨道交通出行方面: 每月选乘地面公交汽车出行代替小汽车出行 100 km,每月选乘地铁等轨道交通出行代替小汽车出行 400 km; (3) 在大力推广步行、自行车等慢行交通等出行方式方面: 每月选择慢行交通方式出行代替小汽车出行 100 km。此外,要求有 125 万辆小汽车车主参与此方案。

情景 III: 相对低碳出行模式,要求私家车车主最大限度地减少小汽车的使用。

(1) 在小汽车限行方面: 每月限行小汽车 16 d;

(2) 在大力推广公共交通,如地铁、轻轨等轨道交通出行方面:每月选乘地面公交汽车出行代替小汽车出行 150 km;每月选乘地铁等轨道交通出行代替小汽车出行 500 km;(3) 在大力推广步行、自行车等慢行交通等出行方式方面:每月选择慢行交通方式出行代替小汽车出行 150 km。此外,要求有 150 万辆小汽车车主参与此方案。

表4 城市交通低碳出行情景分析

Tab. 4 Low-carbon travel scenario analysis of urban transport

减排措施	具体方案	情景 I	情景 II	情景 III
		高	中	低
小汽车限行	每月限行小汽车天数/d	4	8	16
推广公共交通出行/km	每月公交汽车	50	100	150
	每月轨道交通	100	400	500
推广慢行交通/km	每月慢行交通方式	50	100	150
减排效果	减排小汽车参与量/ 万 Veh	100	125	150
	每年 CO ₂ 减排量/万 t	75.40	227.26	453.29

通过以上的分析表明,适当的限制小汽车出行及鼓励车主选乘其他公共交通或慢行交通所达到的减排效果是显著的。国内其他城市也可以采取类似的措施,可以在短期内达到减排的目标,进而促使居民长期养成低碳出行的习惯。

总之,构建低碳交通体系,不仅仅需要从硬件设施上优化并完善路网规划及加大公共交通的建设,还需要结合交通政策导向措施,倡导低碳出行,鼓励居民使用公交、地铁、轻轨、自行车、步行,减少私家车的出行,全面构建居民低碳出行理念。鼓励居民低碳出行,选乘低碳交通方式将为城市建设低碳交通发展模式做出巨大贡献,从短期内就能大幅降低汽油、柴油等化石燃料的消耗,并有效减少交通部门的碳排放。

4 结论

本文通过将 IPCC 的碳排放换算因子,结合我国的低位发热值,获得了适用于我国交通部门的统计碳排放的换算因子。并结合上海市统计年鉴中交通部门的能源消耗量及其他文献统计出了上海市历年碳排放量,并进行了相应的分析;据其增长趋势可以预测出今后一段时间内 CO₂ 排放量的增速是惊人的。最后,通过对上海市交通结构的分析,我们发现小汽车的快速增长是碳排放量增长的主要贡献者之一。为此提出了转变居民出行方式,鼓励低碳出

行的有效的减排实现途径。在鼓励低碳出行的同时,我们今后还需要对保护慢行交通出行者的安全制定有力的保障措施。

参考文献:

References:

- [1] Economist Intelligence Unit. European Green City Index: Assessing the Environmental Impact of Europe's Major Cities [M]. München: Siemens AG, 2009.
- [2] Department of Trade and Industry. Our Energy Future: Creating a Low Carbon Economy [M]. London: The Stationery Office (TSO), 2003.
- [3] Department for Transport. Low Carbon Transport Innovation Strategy [M]. London: DfT Publication Centre, 2007: 1-20.
- [4] 仇保兴. 创建低碳社会、提升国家竞争力: 英国减排温室气体的经验与启示 [J]. 城市发展研究, 2008, 15 (2): 127-134.
- QIU Baoxing. Create a Low-carbon Society and Enhance National Competitiveness: the Experience and Enlightenment of UK Reducing Greenhouse Gases Emissions [J]. Urban Studies, 2008, 15 (2): 127-134.
- [5] "2050 Japan Low-Carbon Society" Scenario Team. Japan Scenarios and Actions towards Low-carbon Societies [EB/OL]. [2011-10-12]. http://2050.nies.go.jp/report/file/lcs_japan/2050_LCS_Scenarios_Actions_English_080715.pdf.
- [6] 刘灿伟. 我国低碳能源发展战略研究 [D]. 济南: 山东大学, 2010.
- LIU Canwei. Study on the Development Strategy of Low Carbon Energy [D]. Jinan: Shandong University, 2010.
- [7] 巩晶, 吴超仲, 毛顿. 基于 WebGIS 的城市机动车尾气污染研究 [J]. 公路交通科技, 2009, 26 (2): 155-158.
- GONG Jing, WU Chaozhong, MAO Dun. Study on Vehicle Emission Pollution Based on WebGIS [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (2): 155-158.
- [8] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.
- [9] GB/T 4754—2002, 国民经济行业分类 [S].
- GB/T 4754—2002, Classification of Industries of National Economy [S].
- [10] 朱松丽. 北京、上海城市交通能耗和温室气体排放比较 [J]. 城市交通, 2010, 8 (3): 58-63.
- ZHU Songli. Comparison of Transportation Energy

- Consumption and Greenhouse Gas Emission between Beijing and Shanghai [J]. Urban Transport of China, 2010, 8 (3): 58-63.
- [1] 李连成, 吴文化. 我国交通运输业能源利用效率及发展趋势 [J]. 综合运输, 2008 (3): 16-20.
- LI Liancheng, WU Wenhua. Utilization Efficiency and Development Trends in Our Transportation Industry [J]. Comprehensive Transportation, 2008 (3): 16-20.
- [2] 上海市城市综合交通规划研究所. 上海市综合交通2008年度报告(摘要下) [J]. 交通与运输, 2008, 24 (6): 4-6.
- Shanghai Urban Comprehensive Transportation Planning Institute. Shanghai Comprehensive Transportation 2008 Annual Report (Summary 2) [J]. Traffic & Transportation, 2008, 24 (6): 4-6.
- [3] 宿凤鸣. 低碳交通的概念和实现途径 [J]. 综合运输, 2010 (5): 13-17.
- SU Fengming. The Concept of Low-carbon Transportation and Ways to Realize It [J]. Comprehensive Transportation, 2010 (5): 13-17.
- [4] AZAR C, LINDGREN K, ANDERSSON B A. Global Energy Scenarios Meeting Stringent CO₂ Constraints-cost-effective Fuel Choices in the Transportation Sector [J]. Energy Policy, 2003, 10 (31): 961-976.
- [5] WANG H, OUYANG M. Transition Strategy of the Transportation Energy and Powertrain in China [J]. Energy Policy, 2007, 35: 2313-2319.
- [6] 程斌. 轨道交通与城市交通可持续发展 [J]. 中国铁道科学, 2001, 22 (1): 107-111.
- CHEN Bin. Sustainable Development of Transit Communication and Urban Communication [J]. China Railway Science, 2001, 22 (1): 107-111.
- [7] 科学技术部社会发展科技司, 中国21世纪议程管理中心. 全民节能减排实用手册 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2007.
- Department of Social Development of Ministry of Science and Technology, Administrative Center for China's Agenda of 21st Century. Practical Handbook of National Energy Saving and Emission Reduction [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2007.
- [8] 上海市城市综合交通规划研究所. 上海市第三次综合交通调查成果简介 [J]. 交通与运输, 2005 (6): 7-11.
- Shanghai Urban Comprehensive Transportation Planning Institute. The Introduction of Shanghai Third Comprehensive Traffic Survey Results [J]. Traffic & Transportation, 2005 (6): 7-11.

(上接第141页)

- [1] MCGEE H W, TAORI S. Impacts on State and Local Agencies for Maintaining Traffic Signs within Minimum Retroreflectivity Guidelines, FHWA-RD-97-053 [R]. McLean, VA: Federal Highway Administration, 1998.
- [2] CARLSON P J, HAWKINS H G Jr. Minimum Retroreflectivity Levels for Overhead Guide Signs and Street Name Signs, FHWA-RD-03-082 [R]. Arlington, TX: Texas Transportation Institute, 2003.
- [3] CARLSON P J, HAWKINS H G. Updated Minimum Retroreflectivity Levels for Traffic Signs, FHWA-RD-03-081 [R]. Arlington, TX: Texas Transportation Institute, 2003.
- [4] OPIELA K S, ANDERSEN C K. Maintaining Traffic Sign Retroreflectivity, FHWA-HRT-07-042 [R]. McLean, VA: Federal Highway Administration, 2007.
- [5] CARLSON P J, LUPES M S. Methods for Maintaining Traffic Sign Retroreflectivity, FHWA-HRT-08-026 [R]. Arlington, TX: Texas Transportation Institute, 2007.
- [6] WOLSHON B, DEGEYTER R, SWARGAM J. Analysis and Predictive Modeling of Road Sign Retroreflectivity Performance [C] // Proceedings of the 16th Biennial Symposium on Visibility and Simulation. Iowa City, IA: [s. n.], 2002.
- [7] BISCHOFF A, BULLOCK D. Sign Retroreflectivity Study, FHWA/IN/JTRP-2002/22 [R]. West Lafayette, IN: Joint Transportation Research Program, 2002.
- [8] RASORF W J, HUMMER J E, HARRIS E A, et al. Designing an Efficient Nighttime Sign Inspection Procedure to Ensure Motorist Safety, FHWA/NC/2006-08 [R]. Raleigh, NC: North Carolina State University, 2006.
- [9] RE J M, MILES J D, KARLSON P J, et al. An Analysis of In-Service Type III High Intensity Traffic Sign Retroreflectivity and Deterioration Rates in Texas [C/DVD] // Transportation Research Board 90th Annual Meeting. Washington D. C.: TRB, 2011.