

交通节能减排智能化分析技术 ——北京市实践

刘莹^{1,2}, 刘宇环², 徐龙², 谷岩²

(1.北京工业大学, 北京 100124; 2.北京市交通行业节能减排中心, 北京 100073)

摘要: 基于大数据的智能化监测分析技术为消除城市交通在节能减排领域决策判断的模糊性、解决交通节能减排问题提供机遇。通过分析交通节能减排宏、中、微观工作对智能化监测分析的需求, 总结现有统计监测体系存在的问题。提出车辆能耗排放多维感知、高分辨率仿真及多尺度评估、海量数据分析挖掘等交通节能减排智能化分析技术。具体阐述北京市在交通节能减排统计监测体系建设、交通能耗与排放清单编制、交通节能减排规划和政策研究、驾驶行为矫正、节能减排标准研究制定等方面的实践应用效果。最后指出, 交通节能减排智能监测体系应构建本地化的模型及关键参数, 同时需要法律法规和体制机制的协同保障。

关键词: 城市交通; 节能减排; 智能化; 大数据; 北京市

Smart Technology on Energy Conservation and Emission Reduction in Transportation System: A Case Study of Beijing

Liu Ying^{1,2}, Liu Yuhuan², Xu Long², Gu Yan²

(1.Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2.Beijing Transportation Environment & Energy Center, Beijing 100073, China)

Abstract: A big data mining-based intelligent technology of monitoring and analysis technology offers an opportunity to eliminate the ambiguity in the decision making process as well as solving the issues of energy conservation and emission reduction. By specifying the demand on intelligent monitoring technology at macro, meso, and micro-scale, this paper summarizes the defects of the existing technology and system, and a couple of new technologies, namely, Multidimensional Awareness, Simulation/Evaluation, and Data Mining. The paper illustrates the efforts of Beijing in system establishment of monitoring system for transportation energy conservation and emission reduction, development of transportation energy consumption and pollution emission inventory, planning and policy study, driving behavior correction, development of energy conservation and emission reduction standards. Finally, the paper urges to develop model and key parameters of intelligent monitoring system for transportation energy conservation and emission reduction that tailor to different cities. Registration and mechanism support are also necessary.

Keywords: urban transportation; energy conservation and emission reduction; intelligent; big data; Beijing

收稿日期: 2016-05-11

作者简介: 刘莹(1981—), 女, 吉林人, 在读博士研究生, 高级工程师, 北京市交通行业节能减排中心副主任, 主要研究方向: 交通节能减排、交通战略规划、交通排放模型。

E-mail: liuying@bjjtw.gov.cn

随着城镇化和机动化进程的加速发展, 交通节能减排已成为城市交通可持续发展难题。同时, 大数据和信息化的迅速发展, 给交通节能减排带来机遇和挑战。在大数据时代, 通过完善系统的智能化监测分析技术, 可以消除城市交通在节能减排领域决策判断的模糊性, 全面实现交通领域能耗排放特征分析、发展态势判别、调控效果预判和评

估, 为解决交通节能减排问题提供机遇。

1 交通节能减排需求分析

节能减排与交通关系日益紧密, 交通管理部门相继发布了以绿色、低碳、节能为导向的发展规划, 同时在中宏观层面出台了以节能减排为导向的政策措施, 这些宏、中、

微观的措施都需要科学、合理的统计监测体系的支撑,以得到科学、准确、精细的结论^[1-2]。具体包括以下几个层面:1)宏观需求方面主要包括绿色交通发展目标制定、交通能耗排放总量与增速控制、绿色导向的交通规划与策略等;2)中观需求方面主要包括车辆能源结构优化、排放结构优化、车龄结构优化、治污治堵一体化政策制定、绿色导向的交通行业升级转型等;3)微观需求方面具体表现在驾驶行为矫正、绿色导向的缓堵改造工程的建设等。

一些地区也在交通领域能耗排放统计监测体系及分析等方面开展了探索与尝试。总体来看,以下三方面问题尚未得到有效解决:

1) 大数据难以服务于宏观决策。交通行业中虽然有很多大数据应用,但能够全面、系统反映交通能耗排放水平与强度等特征的宏观数据难以获得,同时未得到相关部门认可,难以对宏观决策提供有效支撑^[3]。

2) 难以有效服务治理措施的制定与评估。现有的监测体系架构更多地注重环保方面的应用,而面向交通治理的影响机理、关键算法、关键参数的缺失,导致难以有效支撑交通政策措施的制定及效果评估。

3) 尚未建立持续性的本地化数据体系。从国外经验看,数据真正发挥作用的前提是需要持续性,并在真实环境下获得。中国尚未建立交通节能减排本地化真实环境数据持续采集机制,无法反映本地实际特征。

2 智能化分析技术路线

根据交通能耗排放治理决策管理需求及统计监测体系技术的现存问题,本文提出一种交通节能减排智能化分析技术,主要包括:车辆能耗排放多维感知技术,可实现海量高频的多源异构数据采集、存储与清理;基于交通能耗排放五层次模型的高分辨率仿真技术和多尺度评估技术;海量数据分析挖掘技术,具有高时效性、高扩展性特征。

2.1 车辆能耗排放多维感知技术

现阶段交通节能减排相关数据已呈现爆发式增长,包括交通运行数据、企业运营统计数据、车辆基础数据、车辆时空定位数据、车辆微观工况数据、污染物排放因子数据、车辆微观能耗数据、实验测试数据、交

通调查数据等,但由于数据存在来源不同、结构繁杂、粒度多样、采集目的各异等问题,各类数据独立成为数据孤岛,不能实现交叉分析进而挖掘更多有效信息^[4]。因此,如何实现数据质量控制、数据归类和数据间的有序关联成为制约交通节能减排、实现智能化分析的瓶颈。

多维感知技术以车辆基础特征为坐标原点,将海量数据聚类为网状结构模型,能够整合多维异构数据,实现数据有序关联。通过多维实际数据的网状化模型,实现车辆基础信息数据、运营数据与能耗排放等数据的交叉融合和匹配分析。该结构包括五个维度:

1) 能耗维度,车辆运行过程中的能源消耗相关指标,包括车辆瞬时能耗、累计油耗、车辆行驶里程等维度数据;

2) 污染物排放维度,表征车辆运行过程中的污染物排放相关指标,包括不同工况下各车型排放因子、氮氧化物浓度值、尿素液位、SCR(选择性催化系统)工作状态、运行里程等;

3) 运营特征维度,表征车辆运输服务的参数指标,包括客运量、客运周转量、货运量、货运周转量等;

4) 运行工况维度,表征车辆运行的参数和指标,包括运行速度、经度、纬度等;

5) 使用者维度,表征使用者在驾驶车辆运行过程中操作行为的指标及相关信息,包括驾驶人信息(年龄、性别、驾龄、职业)、百公里急加速和急刹车时间及次数、变速频率、加速踏板行程值等。

同时,应用和分析大数据需要关注数据的准确性。应通过不同维度数据校核算法的研究来提高数据准确性,同时与实验等真实数据联合校正。

2.2 高分辨率仿真技术和多尺度评估技术

通过高分辨率仿真技术和多尺度评估技术可解决交通节能减排工作中宏、中、微观规划、预测、评估等问题^[5]。该技术的核心由五层级模型组成,能满足不同维度、不同尺度、不同粒度的交通能耗排放核算需求(见表1)。各层次模型的原理和功能如下:

1) 基于时间维度的宏观核算清单模型。将机动车按照车辆自身物理属性和本地运营管理特征分类,通过各种车型的保有

量、排放因子、能耗因子及车辆行驶里程进行能耗排放总量的核算，主要用于不同时间粒度交通能耗排放总量的评估和预测。可用于交通能耗排放总量的核算、未来年交通能耗排放目标制定及分解，能够为交通管理部门、研究机构提供宏观数据支持。

2) 基于空间维度的中观路网评价模型。该模型是对路段交通量和速度变化进行预测，并预测每个路段、每小时能耗污染物排放。主要应用于交通战略规划情景分析及交通政策措施效果评估。

3) 基于实时交通流的路网动态监测模型。能够实现高分辨率仿真，可以仿真城市路网某路段的小时交通量与速度，通过与速度排放因子库的关联耦合，实现对城市路网动态能耗和污染排放时空分布的仿真。主要用于路网动态能耗和排放清单、道路周边环境仿真等。

4) 基于时空维度的单车监测分析模型。以单车为研究对象，通过车辆多维感知技术获取车辆实时运行工况信息，并与各类车型微观能耗排放因子库相耦合，获得单车动态能耗污染物排放量数据。主要用于高能耗排放车辆识别、微观驾驶行为矫正等。

5) 基于区域的基础设施能耗排放评估模型。以基础设施为研究对象，建立基础设施的交通活动主体及活动状况的能耗排放仿真模型。主要用于基础设施内部环境评价、环境治理措施效果评估。

为有效满足宏、中、微观交通能耗排放治理决策管理需求，高分辨率仿真技术和多尺度评估技术需关注真实性、辨识度、敏感性、综合性等方面问题。

1) 真实性。交通能耗排放治理决策目标是应用于实际治理，因此必须保证真实性。由于车联网监测和实验室检测等技术相对成熟，获得的数据真实可靠，因此该技术模型中交通和能耗排放关键参数均来源于车联网监测及实验室检测数据，能够反映真实排放水平，有效解决真实性问题。

2) 辨识度。由于交通源的移动特性，能耗排放仿真及评估技术需对不同维度、粒度的交通能耗排放情况进行评估决策，因此需对区域、路段和单车等多个维度尺度，对年、月、日等多个时间粒度进行排放监测，以实现高辨识度的监测与评估。

3) 敏感性。高分辨率仿真技术和多尺度评估技术与交通节能减排治理工作紧密结合，需要能够敏感反映政策实施前后的变化。为达到此目的，模型的关键参数数量是传统模型的5~8倍，面向交通污染治理决策，对宏、中、微观等多类政策高度敏感，特别是交通缓堵和区域限行等政策。

4) 综合性。交通节能减排工作涉及能耗、污染物排放、碳排放等对象，需同时兼顾不同时间粒度、不同对象的核算。该模型集交通各领域、各对象(能耗、污染物排放和碳排放)、各时间粒度(年、月和日)核算模型为一体，多方位支撑管理决策。

2.3 海量数据分析挖掘技术

面对大数据给交通节能减排分析工作带来的机遇和挑战，需要具备海量数据实时采集、传输、处理、存储、分析、应用为一体的信息化技术^[6-7]。目前，基于微观监测进行系统评估的工作，例如驾驶行为诊断矫正、车辆减排装置状态监测等，对指标计算及分析的实时性要求比较高。此外，交通行业处于监测体系大发展期，计量监测范围和数量日益增多，数据接入的种类以及数据量会进一步提升，进而带来了系统扩展难题。传统的大数据技术基于MapReduce原理构建，可以满足海量数据分析的要求，但时效性远远不能满足本系统中实时性的要求，扩展性也有所欠缺^[8]。

为满足高时效性和高扩展性的需求，交通节能减排智能化分析技术还需具备高时效性、高扩展性的海量数据分析挖掘能力。结合节能减排系统的业务特点，本文设计了以

表1 高分辨率仿真技术和多尺度评估技术结构

Tab.1 High resolution simulation technology and multi-level evaluation technology

层级	模型	功能
1	基于时间维度的宏观核算清单模型	能耗排放总量核算 目标制定及分解
2	基于空间维度的中观路网评价模型	交通战略规划情景分析 交通政策措施效果评估
3	基于实时交通流的路网动态监测模型	路网动态能耗和排放清单 道路周边环境仿真
4	基于时空维度的单车监测分析模型	高能耗排放车辆识别 微观驾驶行为矫正
5	基于区域的基础设施能耗排放评估模型	基础设施内部环境评价 环境治理措施效果评估

私有云为基础的大数据架构，综合运用流式计算、内存实时计算和海量数据分析挖掘技术(见图1)，满足海量数据快速计算、系统扩展等综合应用需求，实现高时效性、高扩展性。依托该项技术，北京市建立了中国首个交通智能化分析的交通领域节能减排统计与监测平台。平台实现了交通节能减排大数据的实时采集、处理、分析与应用，同时能够实现系统扩展，为北京市的交通节能减排工作提供支撑。

该技术的主要特点包括：

1) 高时效性。采用基于流式计算技术的 Spark Streaming 组件，实现对接入数据的实时清洗和初步计算；针对实时监测分析的指标数据，建设基于 RDD 的实时内存计算引擎，避免传统基于 MapReduce 方式的大数据技术需要频繁访问 I/O 所带来的性能问题。对 TB 级数据可以在秒级完成各种监测指标的计算和分析，满足系统对海量数据计算的高时效性要求。

2) 高扩展性。采用在云计算基础支撑平台上搭建大数据引擎的架构设计。利用云计算平台扩展方便、管理维护成本低的优点，结合基于分布式存储技术的 HDFS 组件和基于分布式资源调度管理的 YARN/Mesos 组件，实现存储能力和计算能力的灵活扩展。可扩展至数百台乃至上千台服务器进行分布式存储和计算，达到 EB 级存储及计算能力，有效解决系统的扩展性问题。

3 应用案例

基于交通节能减排智能化分析技术，北京市率先制定了交通领域节能减排统计监测体系建设总体规划，正着手建立覆盖能耗、燃油、污染物排放、碳排放，能够实现可分析可追溯、可分解可考核、可预测可预警的统计监测体系，建成集微观监测、宏观分析、政策评价及决策支持于一体的可用于多部门的交通领域节能减排统计与监测平台(见图2)，为北京市交通节能减排政策制定、行业监测与管理等提供重要支撑。

3.1 提高能耗及排放清单编制频率

支持高频度编制交通行业能耗清单、排放清单，实现北京市能耗排放的长期监测及变化趋势分析。目前，交通运输行业局限于传统的以企业为单位、年度统计能耗数据，尚无科学合理的能耗核算方法。该方法的数据获取频度低，指标数量少，数据质量难以评估。应用交通节能减排智能化分析技术，北京市交通管理部门分别编制了年度、月度、日度的分能源类型、分行业等能源消耗量的能耗清单，以及年度、月度、日度分污染物类型、分行业污染物排放量的排放清单。实现了交通能耗排放的年度、月度总量核算，以及日度监测及趋势分析(见图3)。

该项应用为重大交通政策的制定和效果评估提供了数据支撑。例如，北京市 APEC

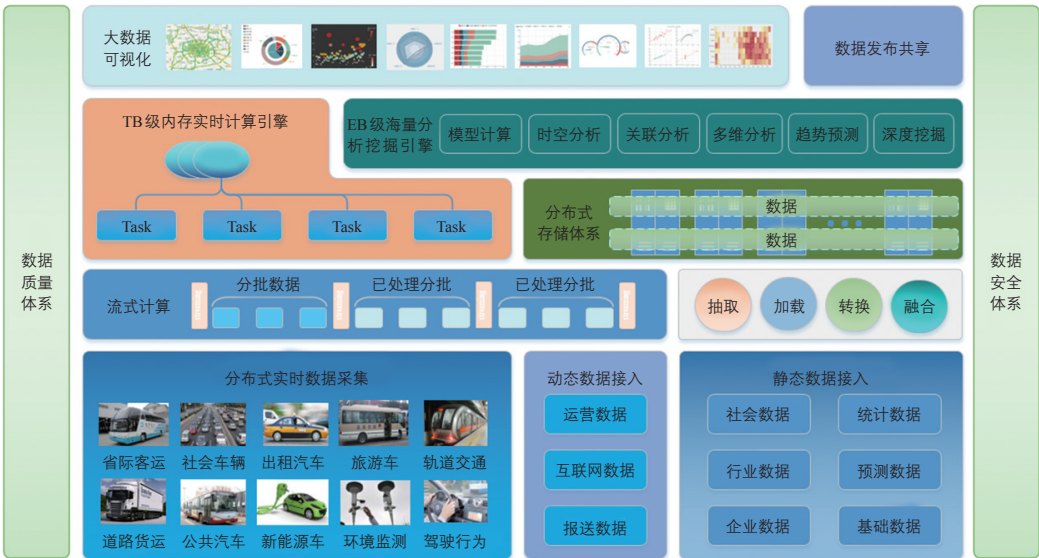


图1 海量数据分析挖掘技术架构

Fig.1 Structure of data mining technology

会议、中国人民抗日战争暨世界反法西斯战争胜利 70 周年纪念日阅兵、雾霾红色预警期间，北京市均实行了单双号限行政策，并利用平台日度监测功能实现了限行效果的评估。

3.2 交通节能减排规划的综合情景多因素分析

北京市交通管理部门于 2013 年启动了《北京市“十三五”交通节能减排发展规划》的研究编制工作，规划研究制定过程中，综合考虑了车辆结构、行业车辆总数、能耗排放强度、行驶里程、需求政策等因素，提出了 125 种情景。基于交通节能减排

智能化分析体系及其关键技术，对各种情景进行交叉分析及预测，得到交通节能减排相关指标数据(见图 4)。

在数据测算的基础上，北京市还提出“一降双控三提升”的发展策略及目标，即实现污染物排放下降，能耗总量和碳排放总量增速得到控制，新清洁能源使用比例大幅提升、资源集约利用水平持续提升、节能减排精细化管理水平显著提升；并提出以绿色管理体系为核心，绿色基础设施、绿色运输装备工具、绿色运输体系、绿色交通技术推广和绿色行为意识为重点的整套交通运输节能减排规划，支持政府的宏观决策。



图2 北京市交通领域节能减排统计与监测平台

Fig.2 Demonstration of statistical analysis-based and monitoring platform of transportation energy conservation and emission reduction in Beijing

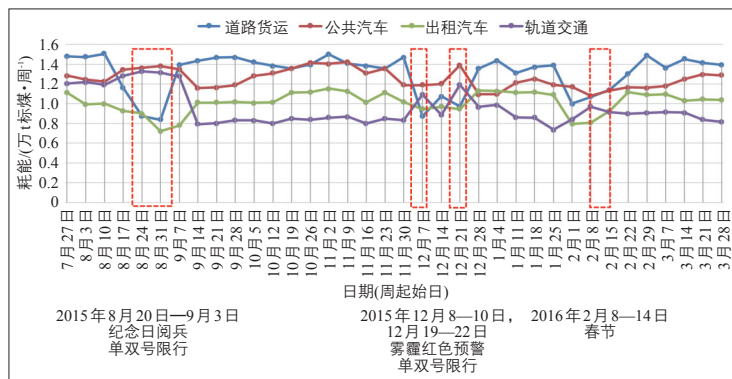


图3 交通能耗日监测分析

Fig.3 Daily monitoring and analysis of transportation energy consumption

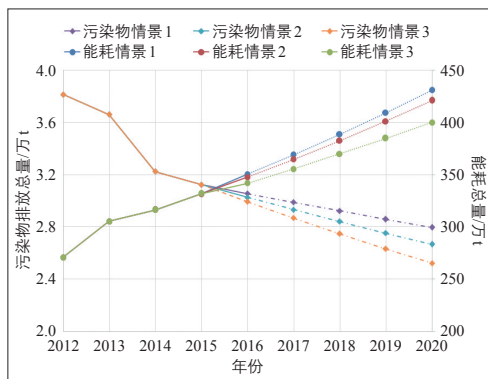


图4 交通节能减排规划目标制定分析

Fig.4 Target-set of transportation energy conservation and emission reduction

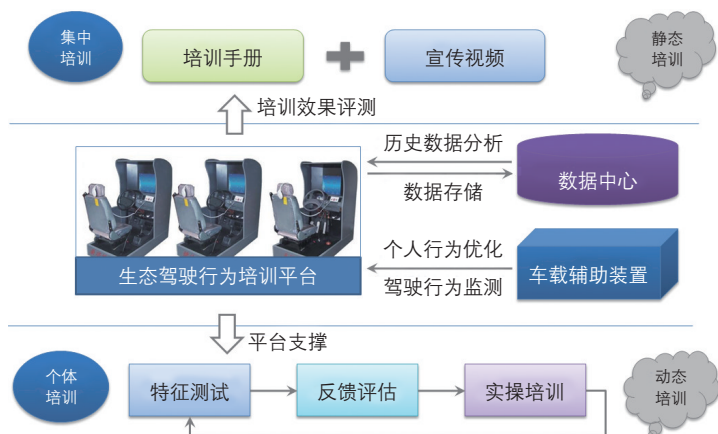


图7 驾驶行为培训体系

Fig.7 Driving behavior training system

于本地实际, 构建本地化的模型及关键参数;

2) 交通节能减排统计监测体系建设实际上是城市的综合能力建设, 需要信息化建设、模型技术、制度标准、理念推广、法律法规和体制机制方面的共同努力和协同发展, 才能有效推进交通节能减排工作。

参考文献:

References:

- [1] 曹艳梅, 丁冬梅. 我国城市交通节能减排发展分析及对策研究[J]. 经济研究导刊, 2012(2): 89-91.
- [2] 高菠阳, 刘卫东. 道路交通节能减排途径与潜力分析[J]. 地理研究, 2013, 32(4): 767-775.
Gao Boyang, Liu Weidong. Emissions Reduction Potential Analysis of Road Transportation [J]. Geographical Research, 2013, 32(4): 767-775.
- [3] 崔淑华, 鲍桂芳. 道路运输业节能减排评价体系优化研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2014, 33(4): 117-121.
Cui Shuhua, Bao Guifang. Optimization Research of Energy Conservation and Emissions Reduction Evaluation System in Road Transportation[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Nature Science), 2014, 33(4): 117-121.
- [4] 崔应寿, 黄莉莉, 黄海涛. 车辆能耗监测平台研究与应用[J]. 中国交通信息化, 2015(3): 123-126.
- [5] 龚琴红. 交通运输对大气环境的影响及节能减排分析研究[J]. 交通节能与环保, 2014(2): 73-75.

Gong Qinzhong. Research into the Effect on Atmospheric Environment and Emission Reduction of Transportation[J]. Energy Conservation & Environmental Protection in Transportation, 2014(2): 73-75.

- [6] 钱越. 低碳运输的智能交通技术体系构建[J]. 北京理工大学学报(自然科学版), 2013(S1): 86-89.
Qian Yue. Intelligent Transportation Technology System for Low-Carbon Transport[J]. Transaction of Beijing Institute of Technology (Nature Science), 2013(S1): 86-89.
- [7] 姚良群. 智能交通技术应用的改进与提高[J]. 交通与运输(学术版), 2014(S1): 82-85.
Yao Liangqun. Improve and Enhance the Application of Intelligent Traffic Technology[J]. Traffic & Transportation (Academic Edition), 2014(S1): 82-85.
- [8] 多雪松, 张晶, 高强. 基于Hadoop的海量数据管理系统[J]. 微计算机信息(测控自动化), 2010, 26(13): 202-204.
Duo Xuesong, Zhang Jing, Gao Qiang. A Mass Data Management System Based on the Hadoop[J]. Microcomputer Information (Control & Automation), 2010, 26(13): 202-204.
- [9] 伍毅平, 赵晓华. 基于跟踪调查的生态驾驶行为节油潜力初探[J]. 道路与安全, 2014, 14(1): 53-55.
Wu Yiping, Zhao Xiaohua. A Pilot Study to Explore the Potential of Eco-Driving on Fuel Consumption Reduction[J]. Road Traffic & Safety, 2014, 14(1): 53-55.
- [10] 叶玉. 西方国家力推“生态驾驶”[J]. 环境保护, 2008(17): 73-74.