

智能交通缓堵型技术碳减排效益评估研究 (总报告)

交通运输部科学研究院
百度公司
2022年1月

目 录

第一章	项目背景	1
第二章	智能交通技术与碳减排之间的关系	3
第三章	智能信控系统	6
3.1	智能信控系统简介	6
3.2	百度智能信控系统	7
3.2	交叉口的车流特性	12
第四章	碳排放评估方法	15
4.1	减排原理	15
4.2	方法类型	15
4.3	评估方法	16
4.4	排放因子	24
4.5	评估工具	25
第五章	案例分析	31
5.1	项目概况	31
5.2	总体效果	34
5.3	模型运算	38
5.4	减排效果	67
第六章	研究结论	70
	参考文献	71
	附件 1 缓堵型智能交通技术（智能信控系统部分）碳减排评估方法说明	74

第一章 项目背景

2020 年底，中国政府提出将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的措施，实现二氧化碳排放力争在 2030 年前达峰，争取 2060 年实现碳中和的发展目标，此目标的提出对我国经济社会转型提出了新要求，倒逼交通行业加快实现低碳发展。2021 年 10 月，党中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，系统谋划提出 10 方面 31 项重点任务，其中提出“加快低碳交通运输体系建设，优化交通运输结构，推广节能低碳型交通工具，积极引导低碳出行，综合运用法律、经济、技术、行政等多种手段，加大城市交通拥堵治理力度等”，并明确提出“推广智能交通”，支持行业、企业依据自身特点开展碳排放核算方法学研究。推进碳排放实测技术发展，加快大数据、云计算等新兴技术在碳排放实测技术领域的应用。

智能交通系统（Intelligent Traffic Systems, ITS）将先进的信息技术、数据通信技术、传感器技术、电子控制技术以及计算机技术等有效地综合运用于整个交通运输管理体系，从而建立起一种大范围内、全方位发挥作用的，实时、准确、高效的综合运输和管理系统。包括城市交通智能调度系统，高速公路智能调度系统，运营车辆调度管理系统，机动车自动控制系统等。智能交通系统通过人、车、路的和谐、密切配合提高交通运输效率，缓解交通拥堵，提高路网通过能力，减少交通事故，降低能源消耗、二氧化碳排放，减轻环境污染。

城市交通是影响交通碳达峰碳中和目标的关键领域，具有规模大、

增速快、减排难等特点。同时由于城市交通拥堵比较严重、车辆运行效率不高等原因对实现城市交通碳达峰碳中和目标产生很大影响。因此，实施智能交通技术对提升城市交通运行效率及实现城市交通碳减排发挥重要作用。因此，开展智能交通缓堵型技术碳减排效益评估研究具有较强的紧迫性和重要意义。

智能交通技术在助力碳减排中，一方面，可以直接实现显著的碳减排效果，其减排技术类型包括：即替代型、缓堵型、优化型、补偿型四类；另一方面，可利用大数据等技术打造城市交通碳排放监测体系，是碳交易中“MRV”（即可监测(Monitoring)，可报告(Reporting)，可核查(Verification)”)的基本要求，对解决碳排放基础数据不足等问题及加强应对气候变化能力建设至关重要。

第二章 智能交通技术与碳减排之间的关系

近年来，随着中国机动车保有量的持续增长，私人汽车占总保有量的 66%，出现了日益严重的交通安全、拥堵、污染等问题，城市交通碳排放和由于拥堵造成更多的排放成为了交通碳排放的主要来源。

助力碳减排的传统智能交通技术包括智慧停车、智能调度、公交大脑、智慧车站（地铁）、不停车收费（ETC）等；新型智能交通技术包括自动驾驶、出行即服务（MaaS）等。

按照智能交通技术发挥作用角度分类，可分为两类：一是可以促进提升城市交通运行效率，助力实现碳减排；二是可以利用大数据、5G 技术等，促进建立城市交通碳排放监测体系，弥补行业统计数据不足，加强相应的能力建设。

对于促进提升城市交通运行效率方面，智能交通技术的范围较广，包括交通诱导、智慧交管、智能调度、无人驾驶、出行即服务（MaaS）、公众出行服务系统、公交大脑、智慧停车、不停车收费系统（ETC）等。但按照碳减排发展需求，智能交通技术助力碳减排的技术框架体系（“4+1”），研究提出了智能交通助力碳减排的“4+1”技术框架体系：即替代型、缓堵型、优化型、补偿型四类减排技术和利用大数据等技术打造一个城市交通碳排放监测体系，综合、立体提升城市交通运行效率，详见图 1。

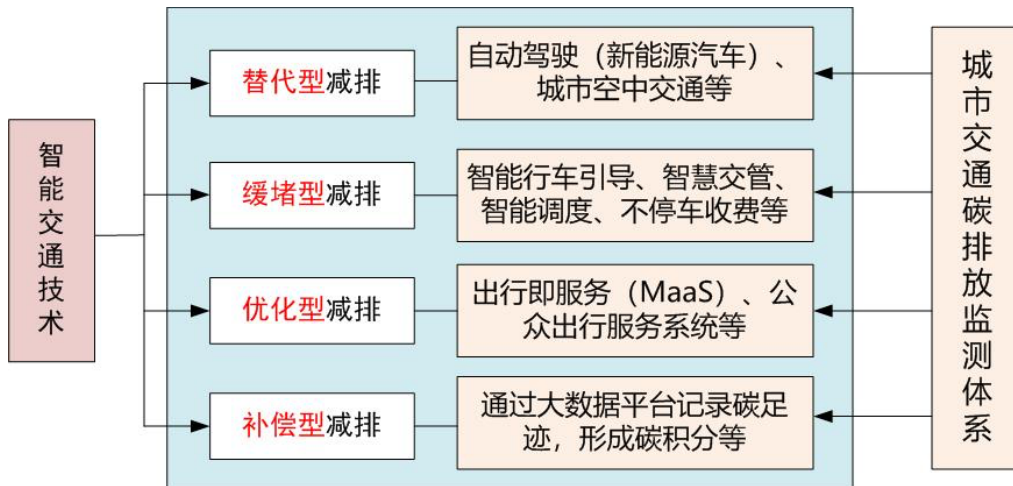


图1 智能交通技术按减排类型分类

智能交通技术助力碳减排的效果与推广规模有直接关系，多数技术属于间接性减排技术，但智能交通技术在助力碳减排和污染减排中能发挥重要作用。国内外一些学者围绕智能交通技术助力碳减排已开展了系列研究。

在综合型减排技术中，自动驾驶技术的推广将产生巨大的碳减排效益，仍由于其目前仍处于示范试点阶段，规模还比较有限，现阶段开展碳减排效益相关的研究不多。缓堵型减排技术已发展多年，包含智慧调度、智慧停车、不停车收费等很多项技术，相应开展的研究和效果评估比较多。如：采用ETC(不停车收费系统)与人工现金收费方式相比，可以减少二氧化碳排放48.9%。通过利用智慧停车系统，在寻找停车场和车位的过程中会产生30-50%的额外燃油消耗和污染。如果能将公路货运车辆空驶率从目前的45%降至发达国家普遍的25%，将减少全年无效行驶里程1472亿公里，减少二氧化碳排放量6951万吨，减排潜力巨大。

在项目层面，智能交通技术项目实施带来的减排效果，如：拉萨

交通综合治理项目实施后，拉萨市 5 条主干道车辆平均通行时间下降 26.9%，停车次数下降 67.2%，有效缓解了道路拥堵，大幅提升交通运行效率，从而降低了机动车总体二氧化碳排放量，实现交通碳减排。上海虹桥枢纽等实施的静态交通云平台，通过大数据、云服务、边缘计算等技术的支撑，可提供停车大数据分析报告、错时及共享停车方案，实现区域实时停车诱导等，进而服务于区域动静态交通组织优化、人车行为轨迹分析、交通规划与政策制定支持、个人信用评价等，可提升 39%的泊位周转率和 22%的车位利用率，更可减少晚高峰 4.6%的碳排放。

优化型减排和补偿型减排在我国城市中出现的时间不长，相关的研究刚刚起步，也有一些借鉴经验。如：北京交通一直坚持低碳发展理念，交通行业碳排放已实现减量发展，但社会交通碳排放仍呈增长态势。2019 年 11 月，北京市发布国内首个 MaaS 平台，2020 年 9 月，基于 MaaS 平台建立了“MaaS 出行 绿动全城”碳普惠激励机制。截至目前，已有 1442.9 万人次参与绿色出行碳普惠活动，累计产生碳减排量 4.6 万吨，助力了交通领域碳达峰、碳中和。

第三章 智能信控系统

3.1 智能信控系统简介

信控的本质是城市道路交叉口的路权分配。交通信号控制系统通过对交通流的观测,针对不同方向的交通流给出相应的红绿灯放行时序,使路口交通流有序通行。

在智能信控出现之前,主要靠警察或者有经验的工程师来完成交通流的人工观测。观测需要覆盖早晚高峰、日平峰、夜间等不同时段,以及工作日、周末等不同阶段的交通流状况。观测完成后需要凭借经验进行交通信号配时的参数配置,配时完成后还需要人工对参数设置的效果好坏进行评估并做必要的调整。配时参数与观测当时的交通状态是强相关的,而交通状态会随着时间的推移发生变化,因此在信控优化的过程中,“检测—设置配时参数—评估信控效果”是一个长期、周而复始的过程。

随着城市规模的扩大和城市交通流的增长,通过人工检测和人工设置配时参数已经不能满足日益增长的交通出行需求。而自动化检测技术和人工智能技术的发展,让智能信控成为趋势。智能信控能够借助自动化检测设备全天候观测交通流情况,运用交通工程学、应用数学、自动控制与信息网络技术以及系统工程学等理论,自动地生成信号配时方案,合理地分配路权,保障车辆有序、高效通行。因此,智能信控是当下非常切实地解决拥堵问题的手段。

通过交通信控的智能化升级,可以对城市发展产生较多的益处:

一是为公众出行提供更畅通的体验。比如百度在广州市黄埔区科

学城、知识城智能信控项目范围内，自适应路口数量占比达 57%，日均优化次数达 3600 余次，路口车均延误下降约 20%，绿灯空放浪费下降约 21%。让每天开车经过的人，切切实实感受到智能交通带来的变化，体验到“一路畅通”的感觉。

二是提升交警指挥效率。通过智能信控，交警在单位指挥时间内，可以为更多的路口提供服务，也可以释放交警在信号指挥中的时间。实践证明，智能信控可以让人工干预信控的次数减少 90%以上。

三是为传统基建实现“软基建”扩容。通过智能信控升级，在不进行道路扩建改造的情况下，可以使道路日均服务车次提升，拥堵指数降低。并且“软基建”的综合成本要大幅低于修路等传统基建。

四是减少安全事故。越是拥堵的路况下，驾车的人越容易出现临时变道、加塞、抢行等行为，从而造成交通事故。而智能信控却可以通过缓堵保畅，解决这一问题。当某路口直行或左转车辆排队过多，系统会自动识别，根据智能检测设备采集的实时交通流量、排队长度等数据，通过智能动态调控可变车道指示标志（如增加直行或左转车道）或智能调整红绿灯放行时间的方式，错时消散车辆排队长度，解决左转和直行车辆排队失衡等交通问题，保障车辆畅通行驶。

3.2 百度智能信控系统

3.2.1 自适应智能交通信号控制系统

智能信控需要做到能够自适应，即交通管理系统需要根据当前实际的交通状况、拥堵程度自动调节红绿灯的时长，这通常需要通过软件和硬件结合的方法来实现。

当前主流智能信控系统常规为根据单个路口的交通状况来调节时间,先进一点的会根据一条路上连续多个路口的实际情况来进行调节,形成所谓的绿波车速。而随着人工智能技术的飞速发展和 5G 等基础设施的逐步普及,根据实时的车流信息,使用智能的算法进行预测,统筹全城所有路口和车道进行智能的、自适应的信号灯调节逐渐成为可能。

针对当前主流信控的不足,智能信控应该从改善检测手段、创新问题诊断、优化信控算法、精确效果评估、简化系统部署等多个方面进行升级。

第一、改善检测手段。在以固定检测器作为主要检测手段的基础上、加入互联网数据、AI 视觉感知等手段。通过手机、车机端获取的互联网轨迹数据,弥补固定检测器建设数量不足、检测数据不全面、检测精度不稳定等缺点,使系统对交通流的检测更加连续完整;AI 视觉算法的加入,则可以将红绿灯的状态、车辆、行人以及路口的状态做到更加细致的识别和关联。

第二,创新问题诊断。通过大数据分析,了解城市的拥堵特征和致堵原因,有针对性地解决问题。从长期看,可以联合交警、市政、绿化等多个部门开展改造改建工程,为拥堵治理提供更长期巩固的保障。

第三,优化信控算法。通过对路口信号灯控制方案的实时优化,确保信号方案能够随着交通变化及时调整,解决人工优化费时费力、优化效果不佳的问题,提升单点自适应、干线协调、区域拥堵控制等算法的应用效果。

第四，精确效果评估。通过互联网数据和 AI 感知算法等手段，弥补固定检测器数据不稳定、不连续的缺点，实现数据的持续跟踪，细化到小时级、分钟级，实现点、线、面交通区域内的实时数据评估和效果跟踪。

第五，简化系统部署。通过地图信息来实现车道特征的自动提取、自动采集，一键获取路网间的拓扑关系等，解决传统信控人工配置相关参数费时费力的难题。

3.2.2 智能信控决策模型

目前，应用于智能信控的决策模型大体上可以分为以下三类：

第一类，领域模型基于交通工程视角建模，是相对比较依赖交通控制理论、知识体系和相关经验驱动的一类模型。在解决问题的思路，也采用了分化的方式，具有更好的可解释性，同时遇到问题容易溯源。

第二类，优化模型是从信息技术的角度出发。这类方法，通常具有优化目标、决策变量、约束条件等因素，技术人员对信控问题建模后会形成一个大规模的优化问题，最后得到一个最优方案，使得路权的供需匹配更合理。

第三类，机器学习通用模型，代表是将深度学习、强化学习进行应用，按特定决策的状态及方式建模以后，算法就能通过学习得到一个解决方案模型。

目前从实际应用来看，百度更多采用领域模型和优化模型相结合的方法，并在部分场景下采用深度学习和强化学习相结合的方法。一

方面，尊重传统交通的知识、经验和方法，另一方面，希望突破传统交通的局限性，来实现更大规模的优化模型求解。

总体而言，智能信控就是从感知智能。认知智能和决策智能等多个关键环节出发，基于大量精准全面的数据构建相应的模型，实现交通调控效果的提升。

3.2.3 百度的智能信控模型应用

截至目前，百度基于感知、认知和决策的智能，已经实现了一部分典型的智能信控模型应用。

(1) 单点自适应控制

简单来说，针对单路口交通流的动态波动来调节不同方向的红绿灯时间，不同时段信号随着车流强弱自适应变化。百度的单点自适应控制，在一些方面做了提升：比如，行业现状是配时方案的部分参数为经验参数。百度是利用数据驱动的方式，将交管部门的数据及互联网端的数据融合，精细化地感知数据来测算动态饱和和流率等信息，从而实现更合理的时间分配。百度在单路口自适应上也实现了认知增强，可以识别路口方向的空放，空放数据对信控调优是非常有效的输入。

(2) 动态干线协调

在一个主干线上，根据车流强度、行驶速度等信息来决策上下游信号灯之间的配合关系。干线协调，希望给用户提供的体验是：当上一个路口通过绿灯以后，到下一个路口遇到的还是绿灯，这样驾驶员就可以不停车通行。动态干线协调的难点在于针对饱和态、高峰期出

行效率的管理。高峰期的干线协调，百度更加倾向于让总体的车流通行量变大，使交通有序畅通，而非一味地追求绿波通行。因为如果高峰期让某个方向绿波通行，意味着其他方向的交通流损耗是比较大的。百度的干线协调实践，也考虑了下游清空的动态需求。

(3) 溢流控制

所谓溢流控制，即当信号灯调配得不够好时，车流可能会排到路口里，这是非常危险的。因为这会影响其他车流的通行，容易造成路口锁死。通常在这种情况下，就会出观交警人工管理，通过拦车以及清空路口重新恢复秩序。这个过程非常耗费警力，对交通的影响非常大。百度的技术方案是基于视觉的精准感知，评估溢流风险，即在还没有溢出的情况下，提前做预警，通过上下游的联动控制来消除溢流风险。

(4) 自适应截流

当前，行业内的截流方案，多采取静态方式，以定时、预设方案为主，难以根据实时路况进行调整。而百度采取了自适应截流技术，针对关键区段，监控其承载压强，一旦监测到濒临超限或者崩溃状态，就会对该区域车辆进行截流。自适应截流的任务是根据关键区段的承载压强动态截流，保障关键区段的有序通行。这里面也包含了感知、认知、决策智能三部分。系统会根据区段的进出车流、排队等指标，基于区段承载压强、压强是否达到超限预警等状况，对该区段的上游和下游进行多级动态截流控制。该技术在长沙落地后取得了不错的效果。

(5) 可变车道联控

在一些地区，通常路口的交通结构会随着时间波动，比如在早 8

点时，可能直行比左转的车要多很多；到了 9 点，可能左转比直行的车又多很多，这时就需要设置一个可变车道应对这样的问题。目前针对可变车道的控制手段存在两个问题：第一，可变车道的决策，以地磁这类固定传感器为主，因为固定传感器的感知是一个断面，所以触发时机比较小。第二，可变车道和信号灯控制没有实现联动，也就是当可变车道切换以后，绿灯时间也要相应地发生改变，这样道路的通行控制才是合理的。百度实现了基于视觉感知的排队检测，来做可变车道的切换，同时把红绿灯的时间和车道的改变进行了联动，这样使得整体路权分配更加合理，各个方向的通行效率更高。

3.2 交叉口的车流特性

城市信号交叉口处车辆的运行特性是研究通行能力，建立碳排放评估模型的基础。信号交叉口是城市道路中一种常见的交通设施。在城市道路信号交叉口中，交通转向行为集中，控制方案也随之较多。信号灯在时间上周期性地为不同的车道组分配通行权，使各车道组的交通流周期性地停驶。在各周期中，不同流向的交通流具有不同的运行特性，大致分为直行车流、左转车流、右转车流三类。

(1) 直行车流运行特性

当信号显示为绿灯时，经过短暂的反应时间后，红灯期间内积累的排队车辆依次起动，鱼贯通过停车线。流率很快地由零增加到一个相对稳定的值(饱和流率)；车头时距达到相对的稳定(饱和车头时距)。此后，车辆以饱和流率通过停车线直至停车线后积存的车辆全部放行完毕，或者虽未放完，但绿灯时间已结束。在红灯刚刚转换为绿灯后，

车辆并不是马上就启动越过停车线，而是要有几秒的迟滞，启动后的车辆从启动到其达到期望车速也需要一段时间，在这段时间内，车头时距明显的要比后面排队车辆之间的车头时距大，因此，这段时间没有被充分利用，有运行时间损失，称为启动损失时间。最初几秒，车辆从原来静止的状态逐步加速到正常行驶状态，交通流的流率变化很快；之后，车队速度保持正常行驶状态，交通流则保持以饱和流率通过停车线。在绿灯结束后的黄灯时间内或是绿灯闪烁期间，由于部分车辆采取了制动措施，通过交叉口的流量由饱和流率逐渐下降。红灯期间，达到停车线的车辆停车等候绿灯，随后到达的车辆则在车队末尾排队等候。

(2) 左转车流运行特性

按照车道功能不同，左转车流可分为左直混行、左转专用和左直右混行车流。其中，左转专用车流除了在交叉口中需要运行更长的距离外，其他运行特性类似于直行车流；不管是左直混行还是左直右混行，这样的车道功能划分都将使左转车流受到同向直行车的干扰。由于共用一条车道，各流向交通流在通过停车线时，其平均车头时距大于只有单一交通流的车道。此时，如果信号相位还为不同流向交通流分配了不同的通行时间，将导致有效通行时间的减少。如在左直混行车道中，左转车流处于红灯，停车线前停驶的左转车其后的直行车也不能通过。按照信号控制条件的不同，左转车流可分为许可型和保护型左转车流。许可型左转车流是指在绿灯期间出现以下情况之一时才能通过：1) 对向直行车未到达冲突点之前；2) 在冲突点附近等待对向

直行车流中出现允许穿越的车头时距;3)信号相位转换间隔。当左转交通需求较大时,个别左转车辆可能会贸然插入对向直行车流。可见,许可型左转车流可能受对向直行车流的干扰;而保护型左转车流,通常配合以专用的左转车道,此时,保护型左转车流的运行特性类似于直行车道。如果左转车流仍然使用共用车道,保护型左转车流也可能受到直行车辆甚至右转车辆的干扰。事实上,基于以上运行特性,信号交叉口的设计中往往将车道功能的划分和信号控制条件进行协调设计,以保证各车道组交通流的高效运行。

(3) 右转车流运行特性

当右转交通量较小时,通常不控制右转车辆的通行,可以在右转车道上连续通行;如果与其他流向车流共用车道,则可能被直行车辆甚至左转车辆阻挡而不能通过。当右转交通量达到一定程度时,应考虑设置右转专用道和信号相位,给右转车辆分配通行时间和空间,否则它将对其它方向上的车流产生一定的影响。

第四章 碳排放评估方法

4.1 减排原理

根据任务要求，本项目重点研究智能交通缓堵型技术碳减排效益评估研究。其减排原理是：通过此类智能交通技术的实施（如：智能交通诱导系统、智能信控系统等），提升了城市道路、交叉口等的车辆通行能力和通行效率，减少车辆排队停驶和慢速行驶，实现了城市交通碳减排，其核心指标是“车辆行驶速度”。

4.2 方法类型

综合欧美日发达国家的经验，交通碳排放测算的方法主要包括两种：“自上而下法”和“自下而上法”。前一种方法的适用条件是统计基础较好、数据质量较好，尤其是燃料消耗统计较好，因此更适用于国家层面宏观的测算；后一种方法则适用于统计基础，尤其是燃料消耗统计较差的领域，但也对交通活动水平统计数据有较高的要求，此方法更适用于城市或区域层面的测算，在国内外使用十分普遍。

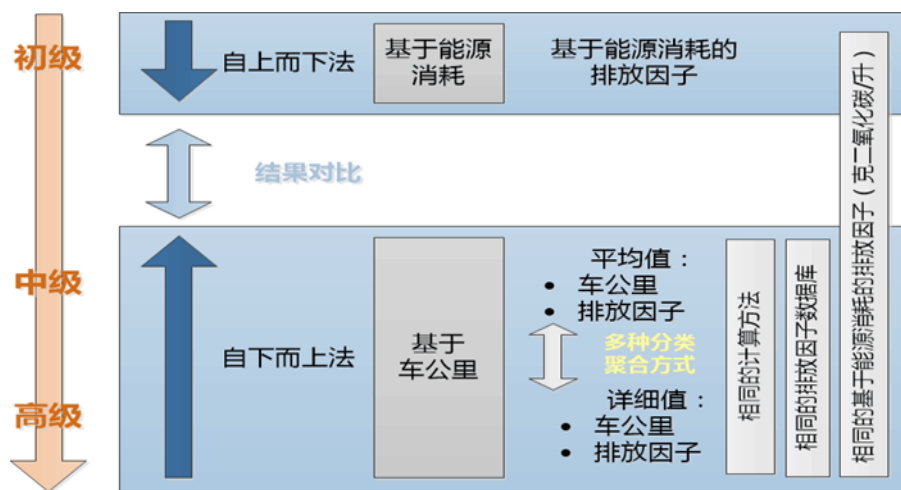


图2 “自上而下法”和“自下而上法”两种方法的比较

4.3 评估方法

本项目将采用“自下而上法”，综合运用 VISSUM、城市交通环境排放评估系统等多种方法来开展碳排放评估。

鉴于不同智能交通技术的碳减排原理，分道路交叉口优先通行和城市道路网运行缓堵两类，识别关键影响因素，借鉴国内外已有研究成果经验，研究提出智能交通缓堵技术的碳排放评估方法，详见图3。

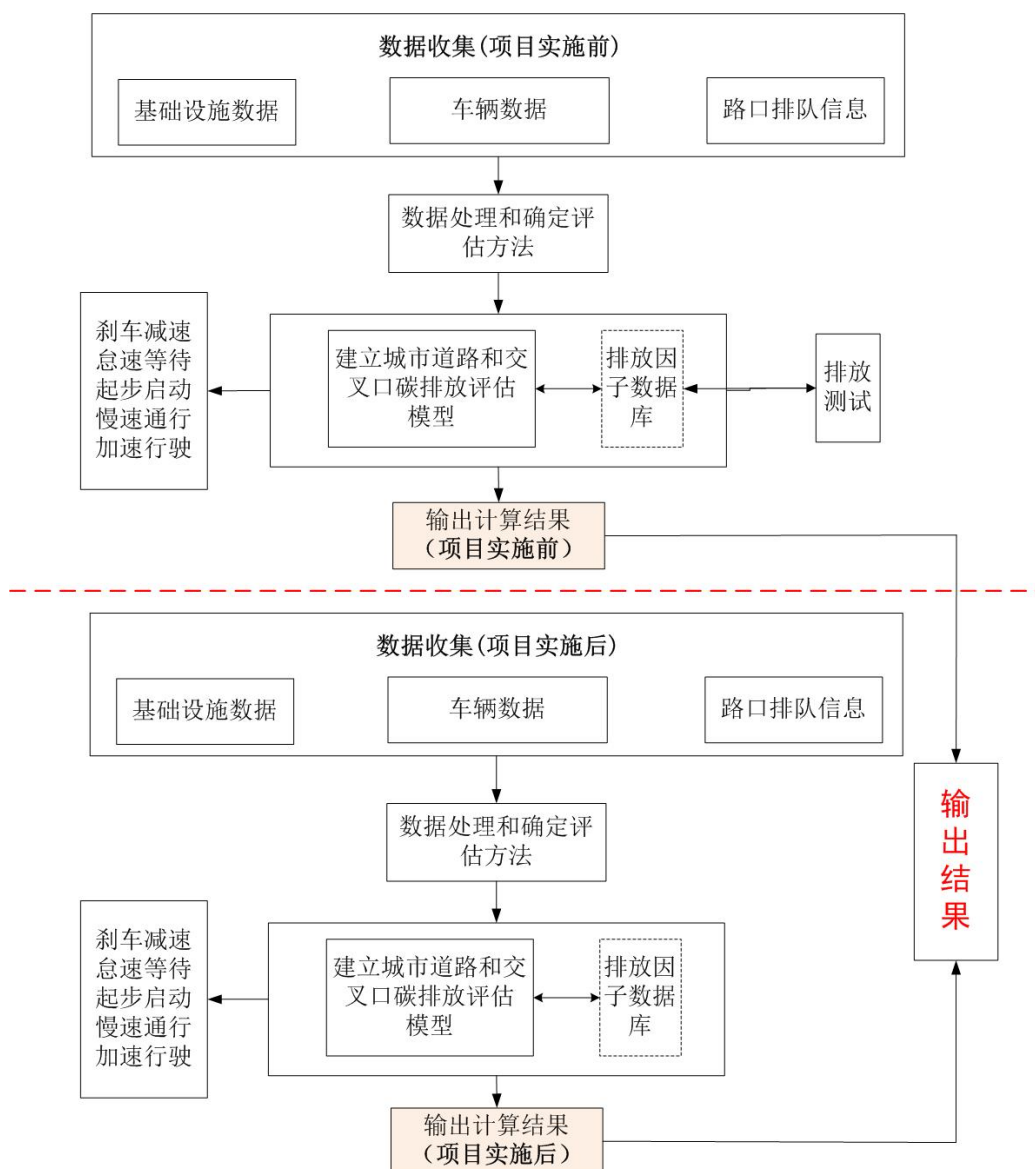


图3 智能交通缓堵型技术碳减排效益评估方法

4.3.1 项目边界或排放源的选择

项目边界的空间范围包括实施了智能信控系统的所有道路交叉口范围，而每个交叉口边界范围包括到交叉口的各个方向 20 米范围内及交叉口全部范围，详见下图 4。

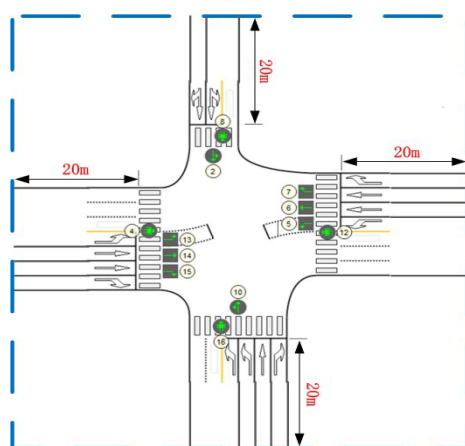


图 4 项目区域边界图

排放源的选择范围如下：

排放源		温室气体种类	是否包含	说明理由/解释
基准线排放	在智能信控系统实施前城市交通的碳排放	CO ₂	是	主要排放源。
		CH ₄	否	在化石燃料燃烧产生的碳排放中CH ₄ 占的比例很小。在计算基准线排放时的燃料消耗中忽略CH ₄ 排放是保守的。
		N ₂ O	否	N ₂ O排在整个碳排放中是很小的源。在计算基准线排放时的燃料消耗中忽略N ₂ O排放是保守的。
项目排放	在智能信控系统实施后城市交通的碳排放	CO ₂	是	主要排放源。
		CH ₄	否	在化石燃料燃烧产生的碳排放中CH ₄ 占的比例很小，影响较小。

排放源		温室气体种类	是否包含	说明理由/解释
		N ₂ O	否	N ₂ O 排放在整个碳排放中是很小的源，影响较小。

4.3.2 基准线情景

适用于本方法学项目的基准线情景为项目实施范围内未实施智能信控系统交叉口的碳排放情景。

4.3.3 额外性论证

基于项目的社会效益，暂不考虑额外性论证。

4.3.4 基准线排放

基准线情景为项目活动实施前现实可行的情景，即在未实施智能交通项目之前，项目范围内所有城市道路交叉口产生碳排放的情景。基准线排放量分未停车通行交通量和停车后再通行交通量的碳排放两部分。计算步骤如下：

步骤 1 确定基于车辆活动水平的排放因子 EF_i

将城市道路分为快速路、主干路、次干路和支路，交通运行状况分为严重拥堵、中度拥堵、轻度拥堵、基本畅通和畅通五个等级。对于不同的道路类型，交通拥堵状况对应的平均行程速度阈值不同，例如，对于快速路，平均行程速度 $\leq 50\text{km/h}$ 即为拥堵（轻度、中度和严重拥堵），对于主干路，则速度 $\leq 30\text{km/h}$ 为拥堵。

利用现有的排放因子和实际排放测试数据，使用 PHEM 排放模型，同时考虑车辆的速度工况、道路坡度等相关因素，计算发动机功率、速度与能耗和碳排放的关系，建立各种车型对应的发动机图谱，得出

典型工况对应的排放因子。综合上述车速与碳排放的测试数据，得出不同道路类型、不同服务水平下小汽车碳排放因子值（g/km）。

步骤 2 收集静态车队数据 VT_q

收集项目范围内的静态车队数据，车辆按照不同类型进行分类：不同车龄（0-15 年）、燃料类型（汽油、柴油、CNG、LNG、纯电动等）、排量（小于 1.4L、介于 1.4L 和 2.0L 之间、大于 2.0L）、不同排放标准（GUO I、GUO II、GUO III、GUO IV、GUO V、GUO VI 等）的小汽车保有量数据。

步骤 3 计算交叉口的动态交通量

项目实施范围内交叉口的动态交通量是指在智能信控系统项目实施之前通过交叉口的实际交通量 VT_q ，分为未停车通行的交通量 VT_{qn} 和停车后再通行的交通量 VT_{qv} 两类。

交通量数据需按照不同的时间、不同交叉口、不同车道等分类，一般是通过人工调查、监控系统或者 GPS 实时动态数据获取。

步骤 4 确定基准线情景排放量 BE_y

排放量分未停车通行的交通量、停车后再通行交通量两类计算。基准线排放量（ BE_y ），计算如下：

$$BE_y = BE_{y1} + BE_{y2} \quad (1)$$

式中：

BE_y : 第 y 年基准线碳排放量（ tCO_2 ）；

BE_{y1} : 第 y 年未停车通行交通量基准线的碳排放量（ tCO_2 ）；

BE_{y2} : 第 y 年停车后再通行交通量基准线的碳排放量（ tCO_2 ）。

未停车通行的交通量的碳排放，计算如下：

$$BE_{y1} = \sum (VKT_i * EF_i * 10^{-3}) \quad (2)$$

式中：

VKT_i ：第 y 年第 i 类车型未停车通行交通量基准线的行驶距离 (km/年)；

EF_i ：第 y 年第 i 类车型未停车通行交通量基准线的排放因子 (g/km)。

停车后再通行交通量的碳排放，计算如下：

$$BE_{y2} = BE_{sj} + BE_{ds} + BE_{qb} + BE_{ms} + BE_{js} \quad (3)$$

式中：

BE_{y2} ：第 y 年项目碳排放量 (tCO₂)；

BE_{sj} ：第 y 年项目刹车减速阶段的碳排放量 (tCO₂)；

BE_{ds} ：第 y 年项目怠速等待阶段的碳排放量 (tCO₂)；

BE_{qb} ：第 y 年项目起步启动阶段的碳排放量 (tCO₂)；

BE_{ms} ：第 y 年项目低速慢行阶段的碳排放量 (tCO₂)；

BE_{js} ：第 y 年项目加速通行阶段的碳排放量 (tCO₂)；

(1) 刹车减速阶段

刹车减速阶段的车辆碳排放是指在车辆即将到达路口之前因前方为红灯时由城市道路平均运营时速开始刹车减速直至到达路口停驶过程中产生的碳排放。其计算方式是车辆行驶里程与排放因子之积，见公式 (4)。

$$BE_{sj} = \sum (VKT_i * EF_i) \quad (4)$$

式中： BE_{sj} 为车辆到达交叉路口前刹车减速的碳排放量，ton； i 为路口数量，个； VKT_i 为第 i 种车型的行驶距离，ton； EF_i 为第 i

种状况下的碳排放因子，g/km。

(2) 怠速等待阶段

车辆减速阶段的车辆碳排放是指在车辆在交叉口因等红灯时停车怠速时产生的碳排放。其计算方式是车辆怠速时的平均燃油消耗量与停车时间、排放因子之积，见公式 (5)。

$$BE_{ds} = \sum (FU_i * T_1 * EF_i) \quad (5)$$

式中： FU_i 为第*i*种车型单位时间的平均燃油消耗量，L/h；通过读取各交叉口的相位图，确定红绿灯的时间， T_1 为该车道方向的交叉口红灯时长，s； EF_i 为第*i*种状况下的碳排放因子，g/km。

(3) 起步启动阶段

车辆起步阶段的碳排放是指在车辆起步加油时产生的碳排放。其计算方式是车辆行驶里程与排放因子之积，见公式 (6)。

$$BE_{qb} = \sum (VKT_i * EF_i) \quad (6)$$

式中： BE_{qb} 为车辆起步阶段持续加油的碳排放量，ton；*i*为路口数量，个； VKT_i 为第*i*种车型的行驶距离，ton； EF_i 为第*i*种状况下的碳排放因子，g/km。

(4) 低速慢行阶段

车辆低速慢行阶段的碳排放是指在车辆加油启动后达到一定车速并保持此速度慢行通过路口阶段时产生的碳排放。其计算方式是车辆行驶距离与排放因子之积，见公式 (7)。

$$BE_{ms} = \sum (VKT_i * EF_i) \quad (7)$$

式中： BE_{ms} 为车辆起步阶段持续加油的碳排放量，ton；*i*为路

口数量，个； VKT_i 为第*i*种车型的行驶距离，ton； EF_i 为第*i*种状况下的碳排放因子，g/km。

(5) 加速通行阶段

车辆加速通行阶段的碳排放是指在车辆通过交叉口后开始继续加速行驶直至达到城市道路平均运营时速时产生的碳排放。其计算方式是车辆行驶距离与排放因子之积，见公式(8)。

$$BE_{js} = \sum (VKT_i * EF_i) \quad (8)$$

式中： BE_{js} 为车辆起步阶段持续加油的碳排放，ton；*i*为路口数量，个； VKT_i 为第*i*种车型的车公里数，ton； EF_i 为第*i*种状况下的碳排放因子，g/km。

4.3.5 项目排放

项目排放量是在项目活动实施后评估年城市交通产生碳排放量的情景。排放因子可使用“基准线排放”中的排放因子数据库。其他计算步骤如下：

步骤 1 计算新增交通量 ΔVT

在开展项目活动之后，继续收集通过所有交叉口的实际交通量 VT_h ，并按照不同的时间、不同交叉口、不同车道进行分类。

通过与基准线排放情景的对比，计算出交叉口通行量的变化量 ΔVT ，见公式(9)：

$$\Delta VT = \Delta VT_h - \Delta VT_q \quad (9)$$

根据基准线未停车通行的交通量 VT_{qn} 与停车后再通行的交通量 VT_{qv} 之比，确定新增交通量的未停车通行的交通量 VT_{hn} 和停车后再通行的交通量 VT_{hv} 。

步骤 2 计算车队行驶里程 VKT

对于新增交叉口通行量 ΔVT ，按照不同方向、不同车道排队行驶进行分类汇总，重新计算总的车队行驶里程 VKT。按照交叉路口分方向车队，考虑车辆从到达路口之前的减速距离（如：20m）开始，至车辆通过交叉口后加速达到平稳速度之后距离（如：20m）结束，计算出 y 年各类型车辆分别在刹车减速、低速慢行、加速通行阶段的行驶里程。

步骤 3 确定评估年碳排放量 PE_y

考虑项目实施前后的评估，得出公式 (10)： PE_y 为道路交叉口评估年的碳排放量，ton。

$$PE_y = PE_{y1} \quad (10)$$

PE_y : 第 y 年项目碳排放量 (tCO₂)；

PE_{y1} : 第 y 年未停车通行交通量 (VT_m) 的项目碳排放量 (tCO₂)；

$$PE_{y1} = \sum (VKT_i * EF_i * 10^{-3}) \quad (11)$$

4.3.6 减排量

步骤 1: 按照停车后再通行方法，重新计算新增交通量的碳排放量 PE_{y2} 。

$$PE_{y2} = PE_{sj} + PE_{ds} + PE_{qb} + PE_{ms} + PE_{js} \quad (12)$$

式中：

PE_{y2} : 第 y 年停车后再通行交通量 (VT_{hy}) 的碳排放量 (tCO₂)。

PE_{sj} : 第 y 年项目刹车减速阶段的碳排放量 (tCO₂)；

PE_{ds} : 第 y 年项目怠速等待阶段的碳排放量 (tCO₂)；

PE_{qb} : 第 y 年项目起步启动阶段的碳排放量 (tCO₂) ;
 PE_{ms} : 第 y 年项目低速慢行阶段的碳排放量 (tCO₂) ;
 PE_{sj} : 第 y 年项目加速通行阶段的碳排放量 (tCO₂) ;
 刹车减速、怠速等待、起步启动、低速慢行、加速通行五个阶段的碳排放量核算方法同基准线排放部分, 不再赘述。

步骤 2: 评估年减排量 ER_y :

$$ER_y = PE_{y1} - PE_{y2} \quad (13)$$

式中:

ER_y : 为 y 年碳减排量 (tCO₂) ;

PE_{y1} : 第 y 年未停车通行交通量(VT_m)的项目碳排放量(tCO₂);

PE_{y2} : 第 y 年停车后再通行交通量(VT_{hy})的项目碳排放量(tCO₂)。

4.3.7 减排率

$$PR_y = - (ER_y/BE_y) \quad (14)$$

式中:

PR_y : 为 y 年评估年的碳减排率 (%)。

4.4 排放因子

结合城市道路分为快速路、主干路、次干路和支路, 交通运行状况分为严重拥堵、中度拥堵、轻度拥堵、基本畅通和畅通五个等级(见表 1)。对于不同的道路类型, 交通拥堵状况对应的平均行程速度阈值不同, 例如, 对于快速路, 平均行程速度 $\leq 50\text{km/h}$ 即为拥堵(轻度、中度和严重拥堵), 对于主干路, 则速度 $\leq 30\text{km/h}$ 为拥堵, 详见表 1。

表 1 城市道路通行效率与车辆速度、道路类型之间的关系

交通运行状况	畅通	基本畅通	轻度拥堵	中度拥堵	严重拥堵
服务水平等级	服务水平 1	服务水平 2	服务水平 3	服务水平 4	服务水平 5

快速路	$V > 65$	$50 < V \leq 65$	$35 < V \leq 50$	$20 < V \leq 35$	$V \leq 20$
主干路	$V > 40$	$30 < V \leq 40$	$20 < V \leq 30$	$15 < V \leq 20$	$V \leq 15$
次干路、支路	$V > 35$	$25 < V \leq 35$	$15 < V \leq 25$	$10 < V \leq 15$	$V \leq 10$

借鉴欧洲 HBEFA 排放因子经验、“城市交通碳排放评估与监测模型”和排放因子数据库，本研究中选择欧 IV1.6L 排量的车不同工况 CO₂ 排放强度（克/公里），基于不同的道路类型取平均值，详见图 4。

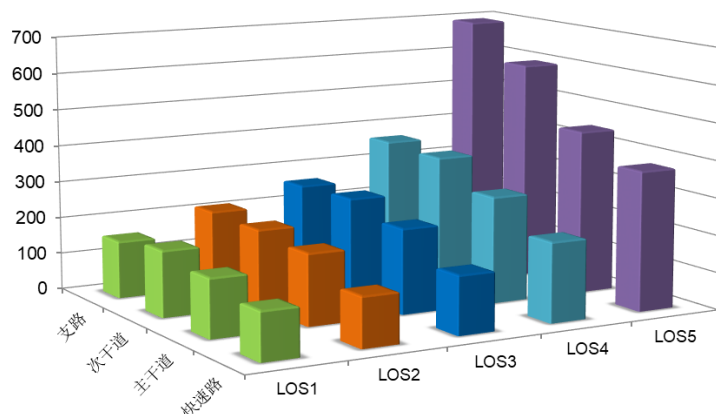


图 5 建立小汽车车辆排放因子数据库

4.5 评估工具

4.5.1 PTV Vissim 仿真软件

PTV Vissim 是一款世界领先的微观交通仿真软件，它能在一个模型中模拟所有交通参与者及他们的交互活动，包括私人机动车、货车、有轨公共交通和道路公共交通、行人以及自行车。基于科学原理的运动模型能真实模拟所有参与者。

该软件从多方面体现自己的灵活性：路段和路段连接器的概念方便用户模拟任意复杂几何形状。驾驶员属性和车辆属性可以自定义参数。另外，提供与多种其他系统的兼容接口，例如：信号控制系统、交通管理系统或排放模型。

PTV Vissim 软件内置多种分析手段，所以，它是评价和规划城

市以及郊区交通基础设施的高效工具。因此，用这款仿真软件既能获得各种不同情境方案的具体数据结果，也能获得逼真的三维动画。对于决策层和公众而言，它是一个理想的工具，能够很有说服力地展示规划的基础设施措施。

PTV Vissim 软件的主要特点如下：

(1) 多元化

无论是公共部门，咨询公司或研究机构，在世界各地有超过 12.000 位用户用 PTV Vissim 进行微观交通仿真。用户可以加入进来，在一个工具中集成模拟所有交通工具及它们之间的交互活动。用机动车、自行车和行人的专用运动模型可以有效评价并真实模拟所有交通行为。

(2) 精度最大化

用 PTV Vissim 可以模拟最逼真的细节。使用路段和路段连接器的概念，您可以随意构建路网各种细节并模拟不同几何形状，从标准节点至复杂路口。另外，软件使用了各种科学行为模型，例如：R. Wiedemann 教授的车辆跟随模型或行人社会力模型，在现有和已规划基础设施中模拟所有交通参与者的真实行为。

(3) 界面友好和高效

在 PTV Vissim 能有效地构建模型：使用各种不同的接口 (COM, Driver Model, 驾驶模拟器 (Driving Simulator), Signal Control, Emission, ANM)，从 PTV Visum 或其它决策交通模型中导入已有路网，连接到外部信号控制器上 (例如：Sittraffic Office、Lisa+、VSplus、

SCOOT、SCTAS、RBC 等), 或者通过仿真分析得到排放数据。可自定义图形参数的窗口灵活设置, 二维和三维路网窗口, 高效创建和编辑路网对象及其属性的多功能编辑器, 以及多种结果输出方法都使得操作非常舒适。

(4) 灵活性和兼容性

选择一种能够适应您情况, 切合您需求的规划工具。通用 COM 接口可以与外部应用程序对接。根据不同层面, 设置驾驶员和车辆属性, 此外还可以考虑交通需求和公交车时刻表信息, 因此, 用户可以通过该套微观规划软件工具, 在一个合理稳定的环境中, 灵活构建方案。作为 PTV Vision Traffic Suite 的组成部分, 仿真软件可以与其它 PTV 软件兼容。

4.5.2 基于大数据的城市交通碳排放评估系统

“基于大数据的城市交通碳排放评估系统”包括制定方案、排放因子查询、排放计算、排放分析、能耗计算、能耗分析、元数据管理和系统管理 8 个模块。模型采集交通运输行业统计以及交通出行调查结果, 融合多源异构的数据源, 结合本地化的排放因子, 计算分析不同交通运输方式在所研究时空下的主要温室气体 (CO₂、CH₄) 和污染物 (CO、NO_x、HC、NH₃、PM) 排放水平, 实现决策支撑。模型整体框架见图 15。



图 6 基于大数据的城市交通碳排放评估系统界面

主要功能如下：

(1) 制定各种方案

制定方案模块包括查询方案和新增方案。查询方案主要是通过列表形式显示系统目前所有的方案，用户可以选择某一方案，对选择方案进行修改、删除、复制。新增方案主要包括研究对象、车辆模型、交通模型、能耗模型四个子流程，通过选择交通方式及适用于该交通方式的计算方法，由系统进一步自动确认是否有车辆模型、交通模型、能耗模型的业务流程并进入到相应的输入界面。

(2) 排放因子查询

排放因子模块的主要功能是按“自上而下”（燃料类型）和“自下而上”（燃料类型、车龄或排放标准，排量，道路类型，服务水平等）两种类型查询温室气体或污染物的排放因子值，并可对排放因子值进行修改。

(3) 计算结果分析

一般统计和专题分析。按制定的方案，开展排放计算、排放分析、

能耗计算和能耗分析等，对计算结果进行保存。基于已计算的排放和能耗结果数据，按年份、交通方式、燃料类型、排量类型、道路类型、温室气体类型、污染物类型等多维度组合分析。结果可以数据表、专题图（饼状图、柱状图）等形式进行展示。

基于时空特征的分析。① 通过系统运算，可基于时间展示不同能耗和排放量分析数据统计，不同类型排放量数据通过折线图显示有数据的一个月日数据变化趋势，区域一般分为行政区、中心城区和远城区，通过柱状图显示各区域日平均值；不同类型能耗占比通过饼图展示各燃油类型车辆排放量日平均占比数据，通过折线图展示能耗按日期标准量数据；② 对于计算结果，考虑时间和空间特征，建立基于 GIS 可视化地图的结果展示，指标选择分为温室气体、污染物和能源消耗量，展示方式分为热力图、蜂窝图、路链图和区域图，选择不同的方式可对数据进行不同 GIS 地图的数据渲染，GIS 地图最下方播放轴根据查询条件显示时间类型确定，显示时间类型选择小时则下方出现 24 小时时间播放轴，显示时间类型选择日则下方出现日期播放轴（日期范围为开始时间至结束时间），时间轴可自动播放并提供暂停、上一时刻和下一时刻的切换功能，如图 16 所示。

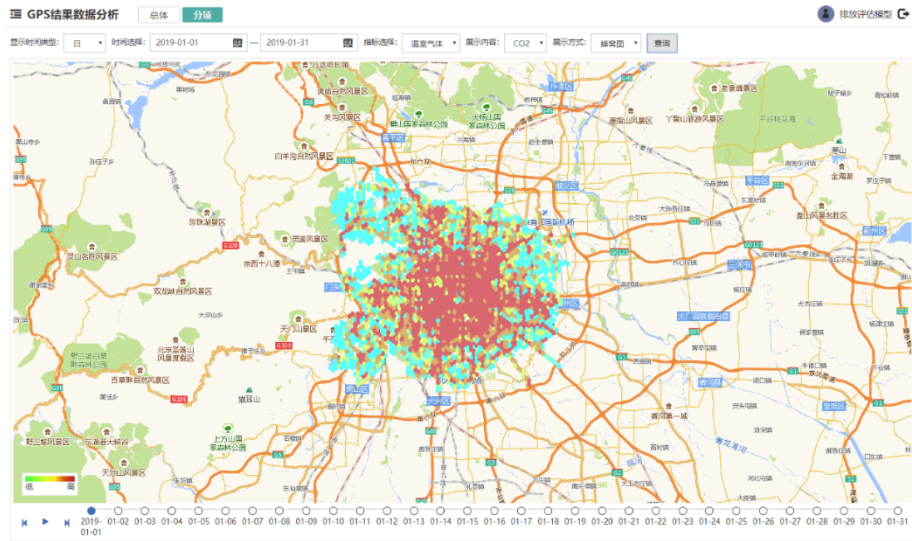


图 7 系统 GPS 数据结果分析

第五章 案例分析

5.1 项目概况

“十三五”时期，保定市面临京津冀协同发展的重要机遇，社会经济增长迅速，机动车保有量不断增加，主城区道路交通供需矛盾日益突出。保定市市委、市政府主要领导高度关注城市道路拥堵问题，安排专项资金支持智能交通建设。市公安局交警支队智能交通（保定AI交管大脑）项目一期项目已于2020年9月初正式投入使用，二期项目正在建设当中，将针对智慧感知、交管大脑、一体化平台、智慧应用等方面进行全面提升。智能交通建设有效提高了城市交通智慧化、精细化、数字化管理水平，取得了一定成效。但是，造成交通拥堵的深层次问题还没有得到根本性解决。

为此，保定市公安局交通警察支队确定了保定市智能交通（保定AI交管大脑）采购项目，于2019年11月初招标，并于同年12月6号开标，由北京百度网讯科技有限公司中标，中标金额1.0036亿元。2019年12月16号由同济设计院牵头开展该工程二次深化设计工作，历时4个月，于2020年4月16号完成二次深化设计专家评审工作。确定本项目建设主要是“1117”，包含组建1个智能感知网络，建设1个智慧交管大脑，搭建1个一体化指挥平台，开发研制7个智慧应用，详见图8。

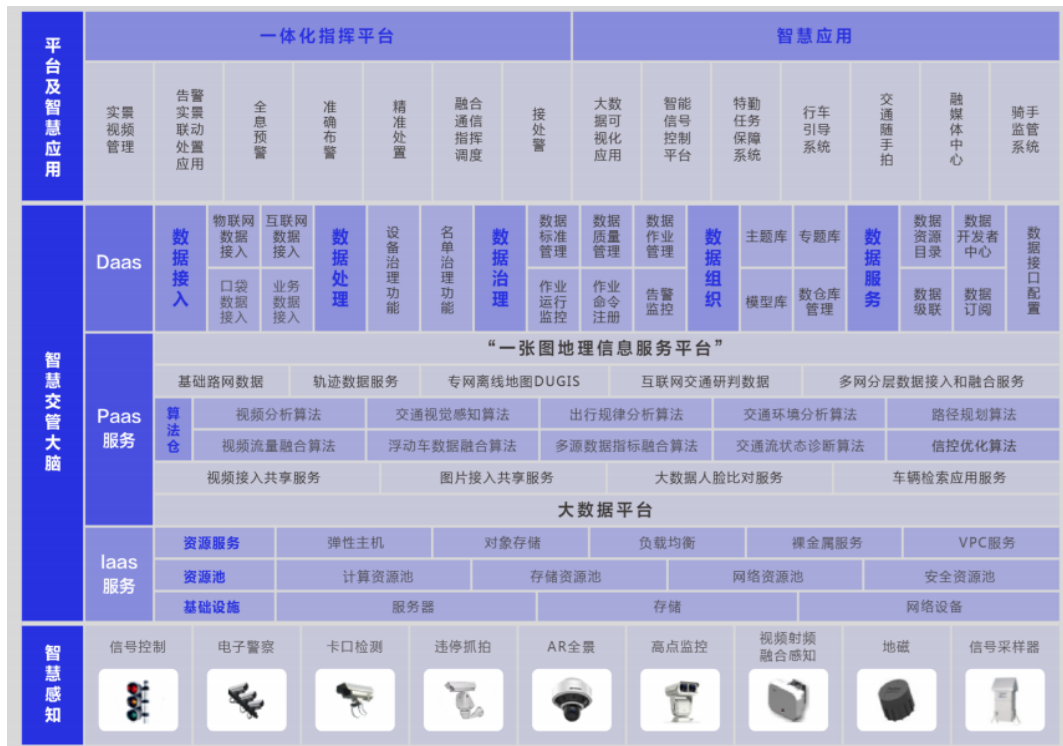


图 8 保定市智能交通（保定 AI 交管大脑）项目框架图

保定市智能交通（保定 AI 交管大脑）“1117”的具体内容包括：

- 1 个智慧感知网络

主要包含 6 台智能联网交通信号机、59 个机动车倒计时牌、137 套倒计时板卡、50 个人行信号灯组、358 套人行信号灯板卡、475 个地磁检测器、120 台视频射频融合感知设备、146 台枪球联动摄像机等共计 1865 个智慧前端感知网络设备。

- 1 个交管大脑

主要包含 IAAS 层（基础硬件服务层）、PAAS 层（基础平台服务层）和 DAAS 层（大数据资源池）。

- 1 个一体化指挥平台

按照支队勤务管理模式，建设常态化管理系统，形成全息预警、

精准布警、高效处置、精细管理的新一代指挥调度和勤务运行模式。

● 7 个智慧应用

从服务交警业务实战的角度，开发研制大数据可视化、智能信号控制、特勤安保任务保障、随手拍、车速引导云平台、警企合作骑手监管平台、融媒体中心等智慧应用系统。

建设了人工智能信号控制系统，接入了视频服务，完成了算法引擎服务，实现了交通指标可视化、优化播报实时化和效果评价闭环化。通过复用原有视频监控设备和补建新型交通流量感知设备，完成了四条主干道 84 个路口的信号控制优化，实现了 53 个路口的自适应控制、9 条子区干线的协调优化控制、2 条纵向主干道 4 个主要路口的溢流截流控制、11 个路口的可变车道与信号灯联动控制和 20 个路口的交通组织优化，详见图 9。



图 9 保定市智慧交管智能信息平台界面

针对一期建设的智能交通信号控制系统进行扩容，已完成二期路口的升级改造及数据接入，实现智能化信号控制。针对主城区，在一期基础上完成新增 92 个路口的信号控制优化，实现了 26 个路口的自适应控制、14 条子区干线的协调优化控制、5 个路口的可变车道与信

号灯联动控制。

截至 2021 年 10 月，两期已完成实现智能化信号控制的交叉路口 176 个。

5.2 总体效果

1) 融合海量多源交通数据，基于 AI 可视化监测交通状态，智能优化交通信号配时。

通过该系统的实施运行，实现交通态势、实时路况、信号控制状态和信号控制模式一张图可视化全景展示；全局掌控交通运行拥堵指数、交通流量、行程速度，科学进行道路、路口拥堵排名；全方位实时展示路口交通流量、排队长度，实时动态优化信号控制方案；实时播报相位优化时长，闭环管理延误、交通流量和拥堵指数等效果评价指标，详见图 10。

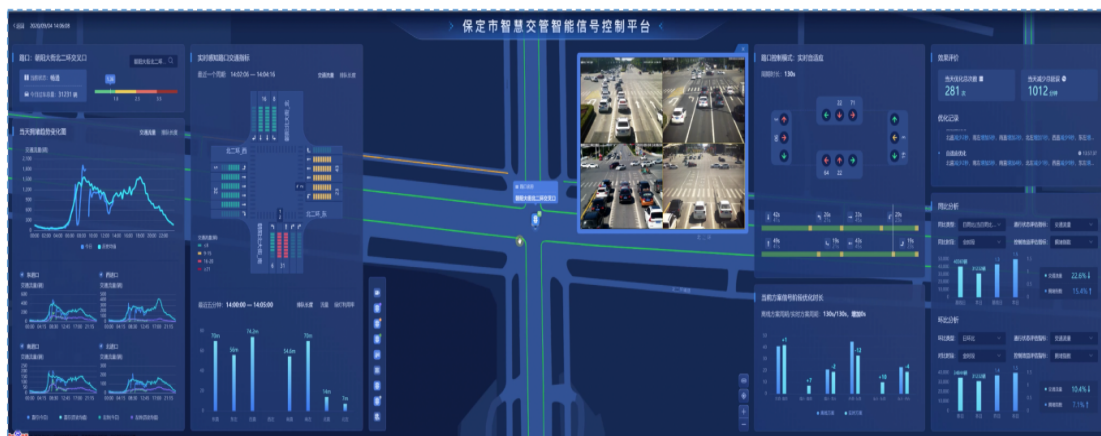


图 10 保定市智慧交管可视化监控

2) 实现 176 个路口自适应控制，缩短无效等待时间。

实现 53 个路口自适应控制，根据实时流量自动调整配时方案，不需人工划分时段，最大限度的降低各方向的无效等待，使得各方向的绿灯放行时间与交通流量相匹配。现场绿灯损失现象有所改善，无

效等待现象减少。

二期实现新增 26 个路口自适应控制，根据实时流量自动调整配时方案，不需人工划分时段，最大限度的降低各方向的无效等待，使得各方向的绿灯放行时间与交通流量相匹配。单路口平均每天优化次数 200 余次，每天平均延误降低约 65 分钟，效果持续优化中。



图 11 保定市道路交叉口实时流量自动调整配时

3) 实现 8 条子区干线绿波通行效果，可连续通过多个路口。

协调东风路、朝阳大街、七一路和恒祥大街等 9 条子区干线各路口的绿灯启亮时差，保障车辆连续通过多个路口，减少车辆停车次数，缩短行程时间，提高行驶速度。七一路（朝阳大街-恒祥大街）子

区西向东行程时间平均缩短 1-2 分钟，车速平均提高约 11km/h，停车次数平均减少 2 次，详见图 12。



图 12 保定市道路连续通行监测效果

动态干线协调通过获取的百度浮动车和现场采集的车辆相关数据，确定不同时段协调的主车流路径，引入实时速度作为实际的绿波车速，优化相位差；自动平衡绿波带宽和单路口的绿信比，实现方案自动下发，实时跟进通行效果。

部署动态干线协调的系统，实现了数据感知指标、协调状态效果、多维效果评价等内容的全程可视化监控。

4) 实现 2 条纵向主干道 4 个主要路口的溢流截流控制，均衡路段排队长度。

完成朝阳大街和恒祥大街主要路口的溢流截流控制，自动检测有

溢流风险的路段，通过上下游路段联动控制，保障上游路段的车流到达下游时，下游路段的车辆队尾开始启动，使车辆以饱和流量通过下游路口，均衡路段排队长度，提高道路通行能力，预防溢流发生。对于已经发生溢流告警的路段，通过上游截流下游疏导控制，最短时间消除溢流告警，避免路口溢流导致路口瘫痪，详见图 13。



图 13 保定市朝阳大街和恒祥大街主要路口的溢流截流控制

5) 实现 11 个路口的可变车道与信号灯联动控制，错时提高道路通行能力。

在道路空间有限的窘境下，根据路口实际交通需求适时变换行驶方向指示标志，联动调整优化信号配时，及时循环消散左转和直行车辆排队长度，提高路口通行效率。完成七一路-恒祥大街、七一路-长城大街、恒祥大街-天鹅路、恒祥大街-复兴路等 11 个路口的可变车道与信号灯联动控制。

二期新增 5 个路口的自适应可变车道控制，根据路口实际交通需求适时变换行驶方向指示标志，同时联动调整优化信号配时，及时消散左转和直行车辆排队长度，高效提升路口空间利用率，保障通行效

率。部署自适应可变车道应用系统，从多元数据融合校验、实时对比指标、可变车道实时监控、信号配时联动、多维效果评价等五个方面，实时监管可变车道的运行状态，详见图 14。



图 14 保定市可变车道与信号灯联动控制

6) 完成 20 个路口的交通组织优化，深入挖掘时空资源潜力，缓解路口交通拥堵。

对 20 个重要路口进行时空一体化交通组织优化设计，匹配制定合理的交通信号控制策略，合理分配道路资源和路权，落实解决事故黑点、秩序乱点和交通易堵点，提高道路通行能力，详见图 15。

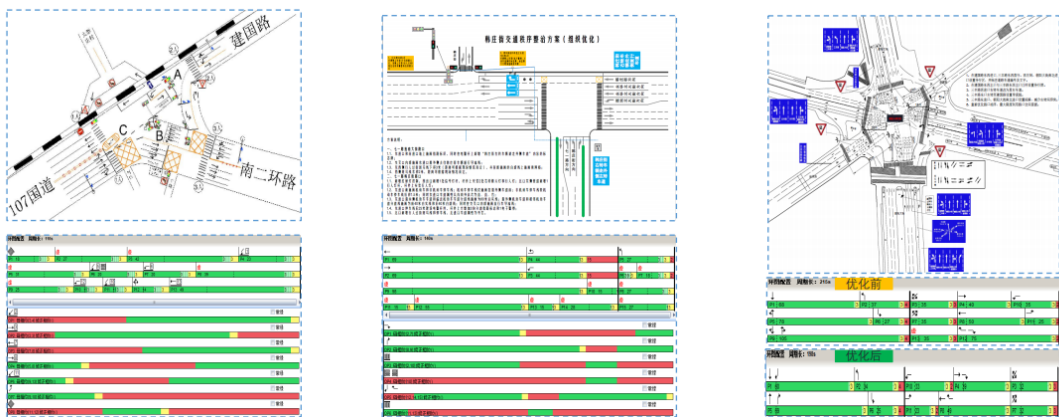


图 15 保定市 20 个路口的交通组织优化

5.3 模型运算

基于已收集的数据包括车辆排队数据、交叉口的相位数据、部分

车辆保有量数据。所以，本次主要是以“保定市智能信控系统”的碳减排效果评估为目标开展相关研究工作。

已搜集到的车辆排队数据、交叉口的相位数据主要包括 16 个路口：①三丰路与莲池大街、②三丰路与长城大街、③东二环与复兴路、④东二环与东风路、⑤东二环与天威路、⑥东风路与向阳大街、⑦东风路与朝阳大街、⑧东风路与阳光大街、⑨东风路与恒祥大街、⑩天鹅路与朝阳大街、⑪天鹅路与恒祥大街、⑫裕华路与长城大街、⑬向阳大街与复兴路、⑭天鹅路与瑞祥大街、⑮天威路与红旗大街、⑯天鹅路与翠园街交叉路口。其分布详见图 16。



图 16 保定市城市道路交叉口分布图

通过数据筛选，初步确定以前 12 个交叉口来开展碳减排效果评估。由于计算过程类似，选择了三丰路与莲池大街等 4 个交叉口开展了较详细的介绍，在最后利用 12 个路口的数据进行汇总分析。

从车辆类型来讲，在所提供的数据中，因缺少交叉口排队车辆的类型数据（如：公交车辆、出租汽车、小汽车、城市物流、大型货车、中型货车等）相关统计，所以不能开展分类计算。但是，考虑在日常城区出行中通常都是以小汽车为主体，所以假定排队车辆都为小汽车。

下面通过利用三丰路与莲池大街、东二环与复兴路、东风路与向阳大街和东风路与恒祥大街四个交叉口的数据开展碳排放测算，具体包括分析交叉口现状、建立车队模型、进行模型运算和分析减排效果。

(1) 交叉口①（三丰路与莲池大街交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图等确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

三丰路与莲池大街交叉口车道和相位详见图 17。

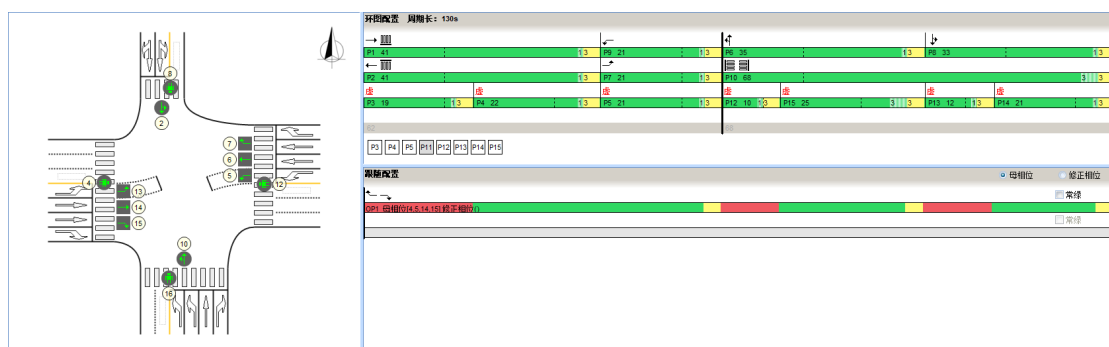


图 17 保定市三丰路与莲池大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，

并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表3。

表3 三丰路与莲池大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
三丰路与莲池大街交叉路口	东进左转	car_count_when_green	260584
	东进左转	car_count_when_red	192590
	东进直行	car_count_when_green	311632
	东进直行	car_count_when_red	120945
	东进右转	car_count_when_green	342005
	东进右转	car_count_when_red	159088
	北进左转	car_count_when_green	56288
	北进左转	car_count_when_red	0
	北进直行	car_count_when_green	214307
	北进直行	car_count_when_red	52769
	南进左转	car_count_when_green	167248
	南进左转	car_count_when_red	27062
	南进直行	car_count_when_green	267206
	南进直行	car_count_when_red	121675
	南进右转	car_count_when_green	297631
	南进右转	car_count_when_red	170742
	西进左转	car_count_when_green	304358
	西进左转	car_count_when_red	112342
	西进直行	car_count_when_green	226144
	西进直行	car_count_when_red	98733
西进右转	car_count_when_green	68959	
西进右转	car_count_when_red	40724	

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算三丰路与莲池大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 33.2 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 118.5 吨（包括：刹车减速 17.2 吨、怠速等待 36.5 吨、起步启动 13.9 吨、慢速通行 39.3 吨、加速行驶 11.5 吨），详见图 18。

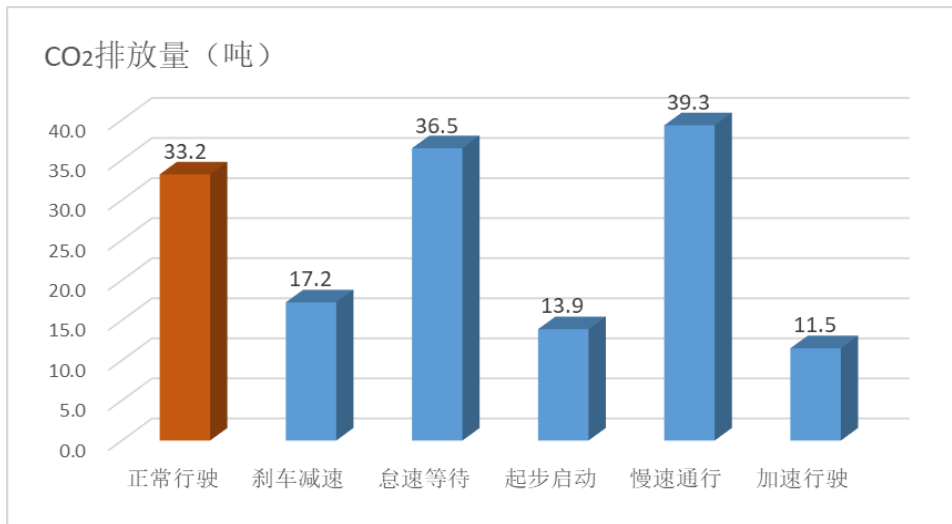


图 18 保定市三丰路与莲池大街交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，三丰路与莲池大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是 85.3 吨/年，减排率为 28.4%。

(2) 交叉口②（三丰路与长城大街交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

三丰路与长城大街交叉口车道和相位详见图 19。

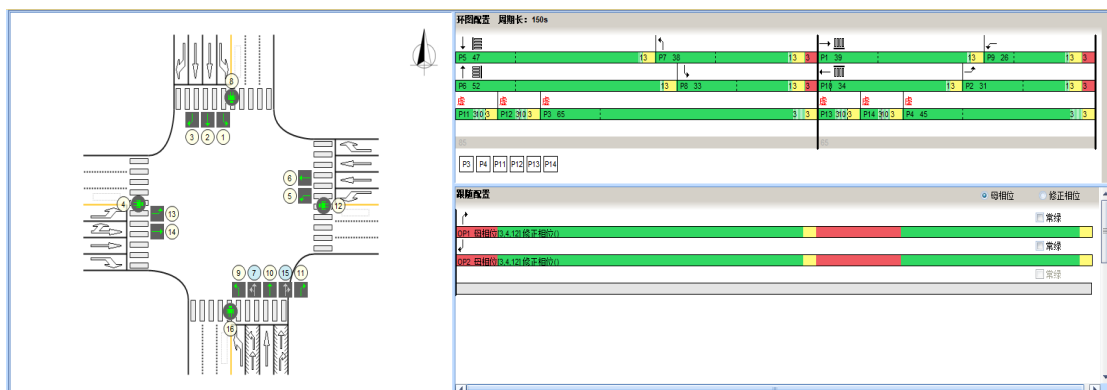


图 19 保定市三丰路与长城大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表4。

表 4 三丰路与长城大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
三丰路与长城大街交叉路口	东进左转	car_count_when_green	0
	东进左转	car_count_when_red	0
	东进直行	car_count_when_green	0
	东进直行	car_count_when_red	0
	东进右转	car_count_when_green	0
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	75399
	北进左转	car_count_when_red	57879
	北进直行	car_count_when_green	724655
	北进直行	car_count_when_red	379965
	北进右转	car_count_when_green	240118
	北进右转	car_count_when_red	0
	南进左转	car_count_when_green	1885394
	南进左转	car_count_when_red	1277474
	南进直行	car_count_when_green	2431995
	南进直行	car_count_when_red	1306843
	南进右转	car_count_when_green	413402
	南进右转	car_count_when_red	268158
	西进左转	car_count_when_green	1741989
	西进左转	car_count_when_red	848351
	西进直行	car_count_when_green	1778984
	西进直行	car_count_when_red	1037591
	西进右转	car_count_when_green	264834
	西进右转	car_count_when_red	286851

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算三丰路与长城大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳

排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 43.4 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 192.7 吨（包括：刹车减速 21.8 吨、怠速等待 89.2 吨、起步启动 17.6 吨、慢速通行 50.5 吨、加速行驶 13.6 吨），详见图 20。

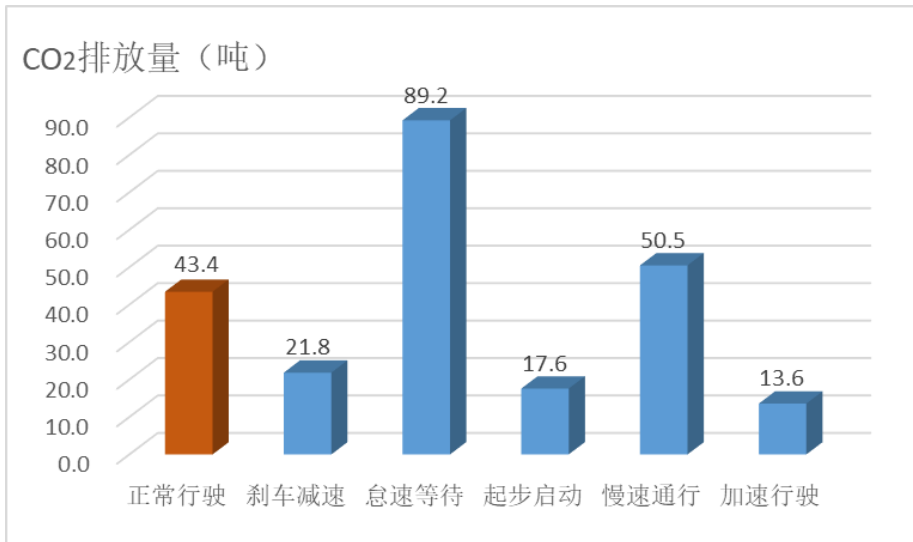


图 20 保定市三丰路与长城大街交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，三丰路与长城大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是 149.3 吨/年，减排率为 27.6%。

(3) 交叉口③（东二环与复兴路交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图等确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

东二环与复兴路交叉口车道和相位详见图 21。

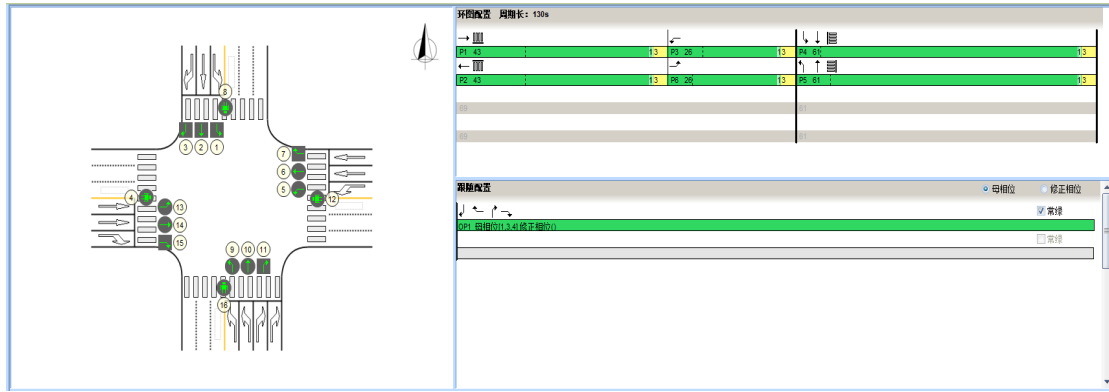


图 21 保定市东二环与复兴路交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表 5。

表 5 东二环与复兴路交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
东二环 与复兴 路交叉 口	东进左转	car_count_when_green	375689
	东进左转	car_count_when_red	202497
	东进直行	car_count_when_green	1293482
	东进直行	car_count_when_red	709716
	东进右转	car_count_when_green	81291
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	343934
	北进左转	car_count_when_red	207085
	北进直行	car_count_when_green	623224
	北进直行	car_count_when_red	310889
	北进右转	car_count_when_green	279290
	北进右转	car_count_when_red	103803
	南进左转	car_count_when_green	380656
	南进左转	car_count_when_red	201141
	南进直行	car_count_when_green	699327
	南进直行	car_count_when_red	340271
	南进右转	car_count_when_green	318671
	南进右转	car_count_when_red	139130
西进左转	car_count_when_green	79622	
西进左转	car_count_when_red	55011	

西进直行	car_count_when_green	875844
西进直行	car_count_when_red	164433
西进右转	car_count_when_green	33319
西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算东二环与复兴路交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 65.0 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 271.2 吨（包括：刹车减速 53.5 吨、怠速等待 74.4 吨、起步启动 27.7 吨、慢速通行 92.8 吨、加速行驶 22.9 吨），详见图 22。

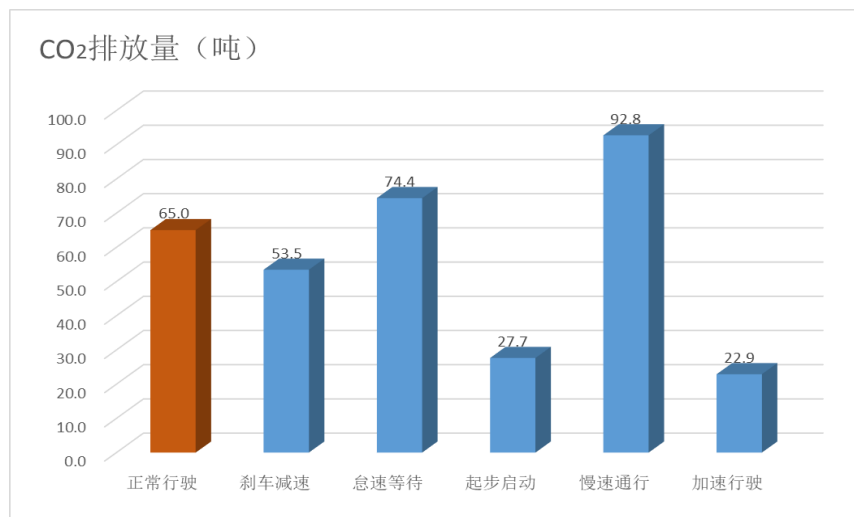


图 22 保定市东二环与复兴路交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，东二环与复兴路交叉口实现的 CO₂ 减排量是 141.1 吨/年，减排率为 30.0%。

(4) 交叉口④（东二环与东风路交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图等确定本路口的各方向（东进左

转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进右转) 行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

东二环与东风路交叉口车道和相位详见图 23。

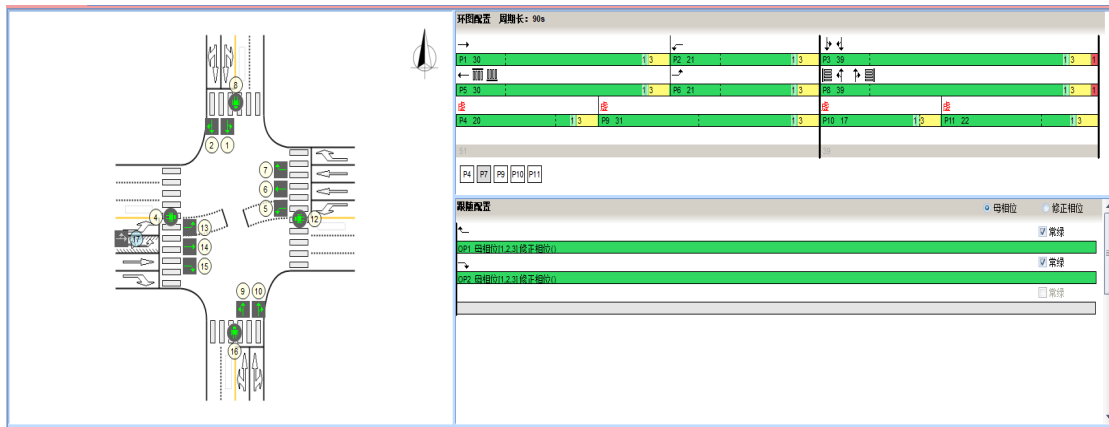


图 23 保定市东二环与东风路交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7 天）的数据扩样到一年（365 天），详见表 6。

表 6 东二环与东风路交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
东二环与东风路交叉口	东进左转	car_count_when_green	375689
	东进左转	car_count_when_red	202497
	东进直行	car_count_when_green	1293482
	东进直行	car_count_when_red	709716
	东进右转	car_count_when_green	81291
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	343934
	北进左转	car_count_when_red	207085
	北进直行	car_count_when_green	623224
	北进直行	car_count_when_red	310889
	北进右转	car_count_when_green	279290
	北进右转	car_count_when_red	103803

	南进左转	car_count_when_green	380656
	南进左转	car_count_when_red	201141
	南进直行	car_count_when_green	699327
	南进直行	car_count_when_red	340271
	南进右转	car_count_when_green	318671
	南进右转	car_count_when_red	139130
	西进左转	car_count_when_green	79622
	西进左转	car_count_when_red	55011
	西进直行	car_count_when_green	875844
	西进直行	car_count_when_red	164433
	西进右转	car_count_when_green	33319
	西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算东二环与东风路交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 80.2 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 118.5 吨（包括：刹车减速 39.7 吨、怠速等待 47.1 吨、起步启动 32.0 吨、慢速通行 95.3 吨、加速行驶 26.5 吨），详见图 24。

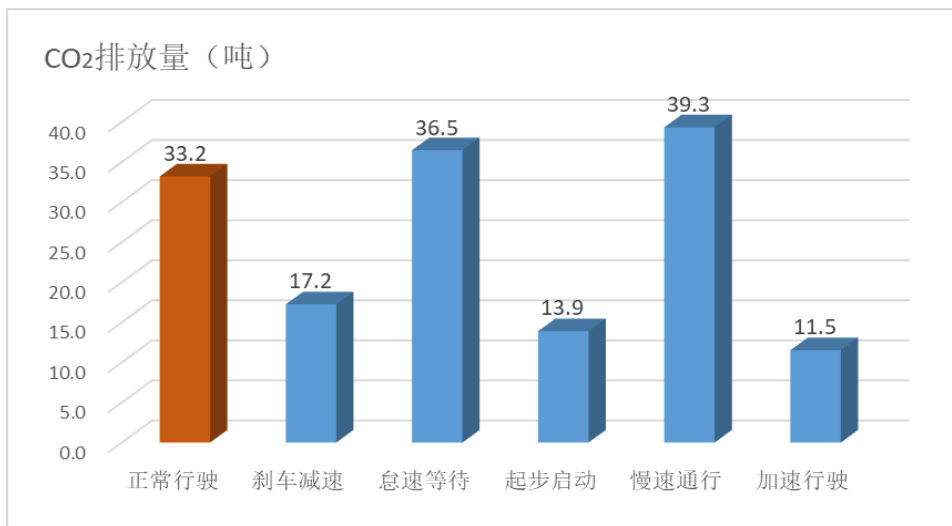


图 24 保定市东二环与东风路交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，东二环与东风路交叉口实现的 CO₂ 减排量是

85.3 吨/年，减排率为 29.3%。

(5) 交叉口⑤（东二环与天威路交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

东二环与天威路交叉口车道和相位详见图 25。

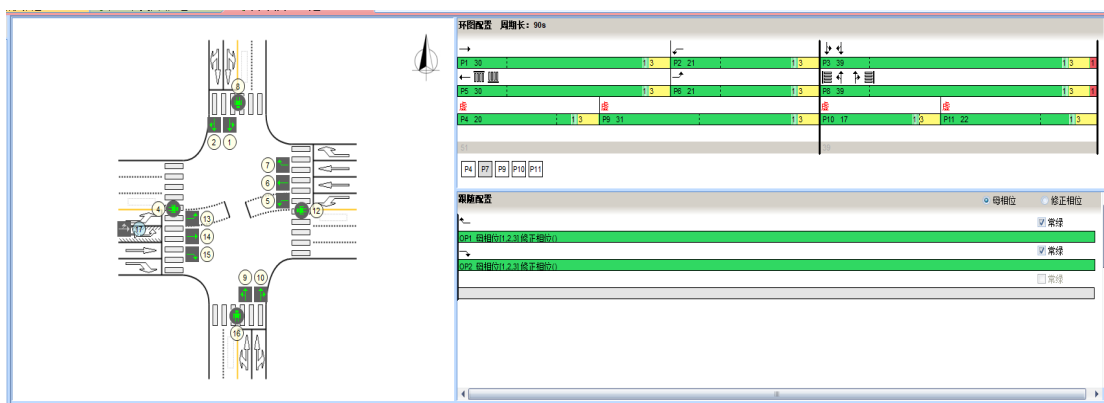


图 25 保定市东二环与天威路交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表 3。

表 7 东二环与天威路交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
东二环与天威路交叉口	东进左转	car_count_when_green	99124
	东进左转	car_count_when_red	82907
	东进直行	car_count_when_green	468921
	东进直行	car_count_when_red	166388
	东进右转	car_count_when_green	49353

	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	122431
	北进左转	car_count_when_red	68020
	北进直行	car_count_when_green	500206
	北进直行	car_count_when_red	127203
	北进右转	car_count_when_green	89920
	北进右转	car_count_when_red	0
	南进左转	car_count_when_green	215689
	南进左转	car_count_when_red	140212
	南进直行	car_count_when_green	542234
	南进直行	car_count_when_red	136197
	南进右转	car_count_when_green	24351
	南进右转	car_count_when_red	0
	西进左转	car_count_when_green	292991
	西进左转	car_count_when_red	87913
	西进直行	car_count_when_green	380617
	西进直行	car_count_when_red	197126
	西进右转	car_count_when_green	36656
	西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算东二环与天威路交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 35.6 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 112.2 吨（包括：刹车减速 18.7 吨、怠速等待 27.1 吨、起步启动 15.0 吨、慢速通行 38.9 吨、加速行驶 12.5 吨），详见图 26。

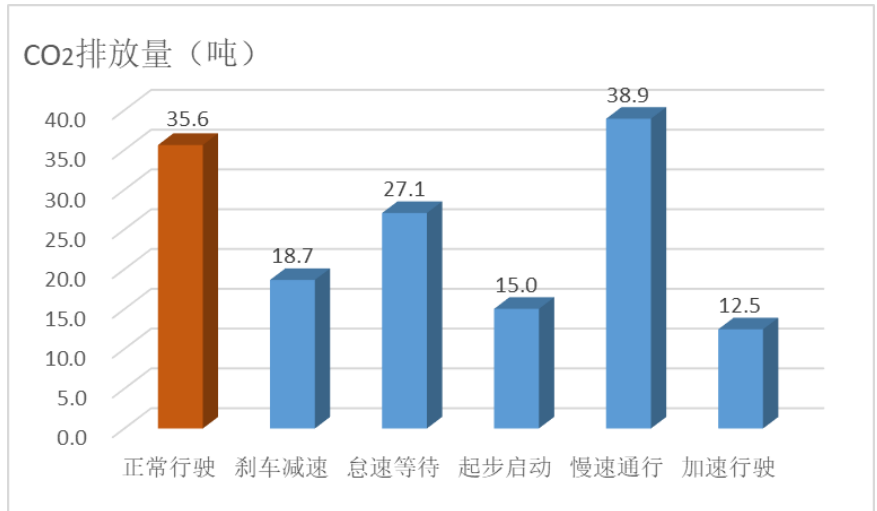


图 26 保定市东二环与天威路交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，东二环与天威路交叉口实现的 CO₂ 减排量是 76.6 吨/年，减排率为 29.1%。

(6) 交叉口⑥（东风路与向阳大街交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

东风路与向阳大街交叉口车道和相位详见图 27。

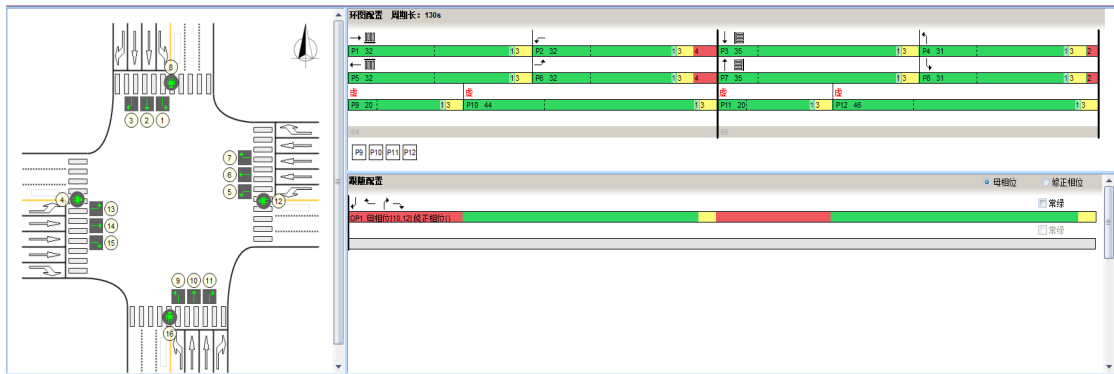


图 27 保定市东风路与向阳大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表 8。

表 8 东风路与向阳大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
东风路与向阳大街交叉口	东进左转	car_count_when_green	0
	东进左转	car_count_when_red	14756
	东进直行	car_count_when_green	858271
	东进直行	car_count_when_red	227760
	东进右转	car_count_when_green	39238
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	264260
	北进左转	car_count_when_red	100792
	北进直行	car_count_when_green	646493
	北进直行	car_count_when_red	207190
	北进右转	car_count_when_green	13166
	北进右转	car_count_when_red	0
	南进左转	car_count_when_green	0
	南进左转	car_count_when_red	0
	南进直行	car_count_when_green	0
	南进直行	car_count_when_red	0
	南进右转	car_count_when_green	0
	南进右转	car_count_when_red	0
	西进左转	car_count_when_green	103478
	西进左转	car_count_when_red	83064
	西进直行	car_count_when_green	1044943
	西进直行	car_count_when_red	500780
	西进右转	car_count_when_green	57514
	西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算东风路与向阳大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳

排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 37.8 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 144.8 吨（包括：刹车减速 20.7 吨、怠速等待 55.3 吨、起步启动 16.7 吨、慢速通行 38.1 吨、加速行驶 13.8 吨），详见图 28。

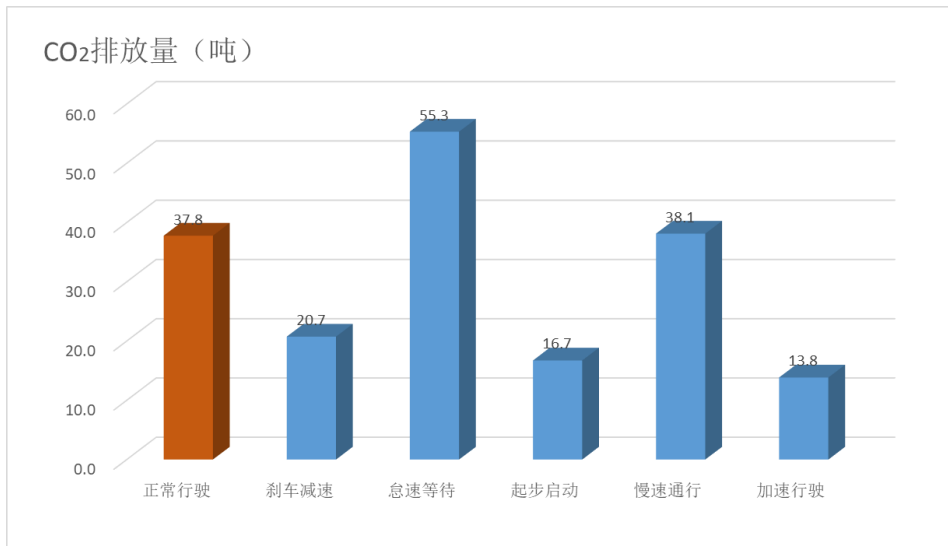


图 28 保定市风路与向阳大街交叉口碳排放量

4) 进行模型运算

由以上可以看出，风路与向阳大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是 107.0 吨/年，减排率为 28.8%。

(7) 交叉口⑦（东风路与朝阳大街交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图等确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进左直、北进直行、北进右转、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

东风路与朝阳大街交叉口车道和相位详见图 29。

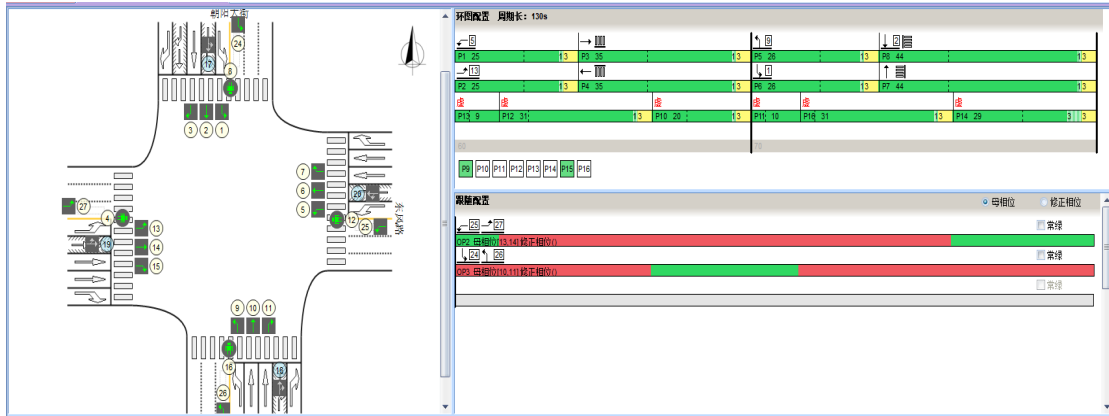


图 29 保定市东风路与朝阳大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表9。

表 9 东风路与朝阳大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
东风路与朝阳大街交叉路口	东进左转	car_count_when_green	520151
	东进左转	car_count_when_red	442380
	东进直行	car_count_when_green	853161
	东进直行	car_count_when_red	593151
	东进右转	car_count_when_green	100245
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	235568
	北进左转	car_count_when_red	180988
	北进直行	car_count_when_green	698701
	北进直行	car_count_when_red	380930
	北进右转	car_count_when_green	45651
	北进右转	car_count_when_red	0
	南进左转	car_count_when_green	155751
	南进左转	car_count_when_red	110778
	南进直行	car_count_when_green	648592
	南进直行	car_count_when_red	338720
	南进右转	car_count_when_green	206186
	南进右转	car_count_when_red	45416
西进左转	car_count_when_green	321982	

	西进左转	car_count_when_red	199942
	西进直行	car_count_when_green	650326
	西进直行	car_count_when_red	260871
	西进右转	car_count_when_green	40228
	西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算东风路与朝阳大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 52.2 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 219.2 吨（包括：刹车减速 27.1 吨、怠速等待 94.4 吨、起步启动 21.8 吨、慢速通行 57.7 吨、加速行驶 18.1 吨），详见图 30。

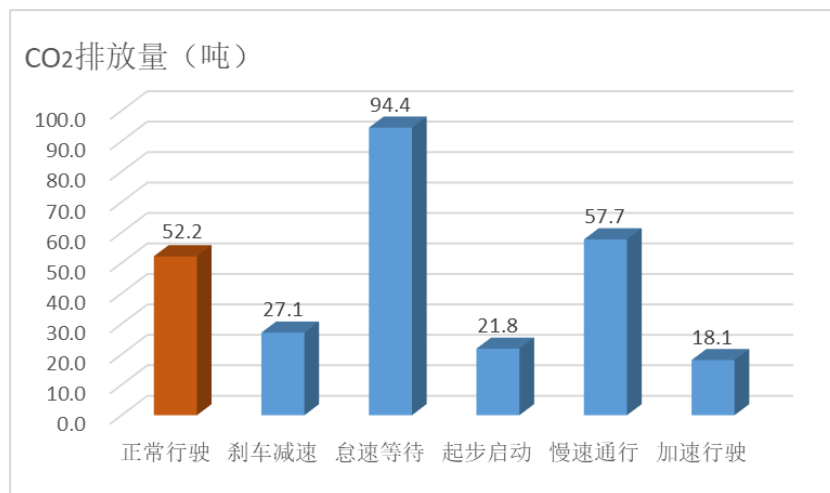


图 30 保定市东风路与朝阳大街交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，东风路与朝阳大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是 167.0 吨/年，减排率为 27.6%。

(8) 交叉口⑧（东风路与阳光大街交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图等确定本路口的各方向（东进左

转、东进直行、东进右转、北进左转、北进左、北进直行、北进右、南进左、南进直、南进右、西进左、西进直、西进直、西进右) 行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

东风路与阳光大街交叉口车道和相位详见图 31。

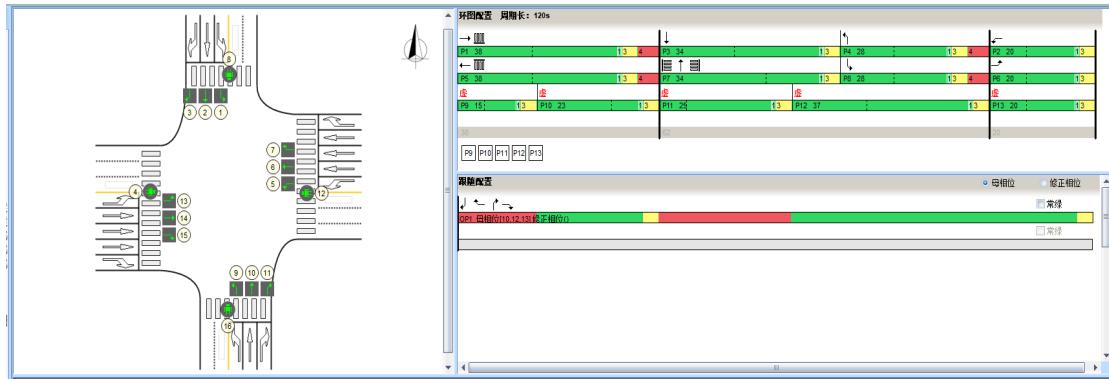


图 31 保定市东风路与阳光大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7 天）的数据扩样到一年（365 天），详见表 10。

表 10 东风路与阳光大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
东风路与阳光大街交叉路口	东进左转	car_count_when_green	107831
	东进左转	car_count_when_red	88982
	东进直行	car_count_when_green	655279
	东进直行	car_count_when_red	391854
	东进右转	car_count_when_green	39264
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	113124
	北进左转	car_count_when_red	48858
	北进直行	car_count_when_green	469181
	北进直行	car_count_when_red	78058
	北进右转	car_count_when_green	11289
	北进右转	car_count_when_red	0
	南进左转	car_count_when_green	130253

南进左转	car_count_when_red	70054
南进直行	car_count_when_green	714070
南进直行	car_count_when_red	177312
南进右转	car_count_when_green	60016
南进右转	car_count_when_red	0
西进左转	car_count_when_green	473457
西进左转	car_count_when_red	411042
西进直行	car_count_when_green	1276483
西进直行	car_count_when_red	681664
西进右转	car_count_when_green	72609
西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算东风路与阳光大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 60.0 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 232.8 吨（包括：刹车减速 27.5 吨、怠速等待 88.1 吨、起步启动 22.8 吨、慢速通行 76.1 吨、加速行驶 18.4 吨），详见图 32。

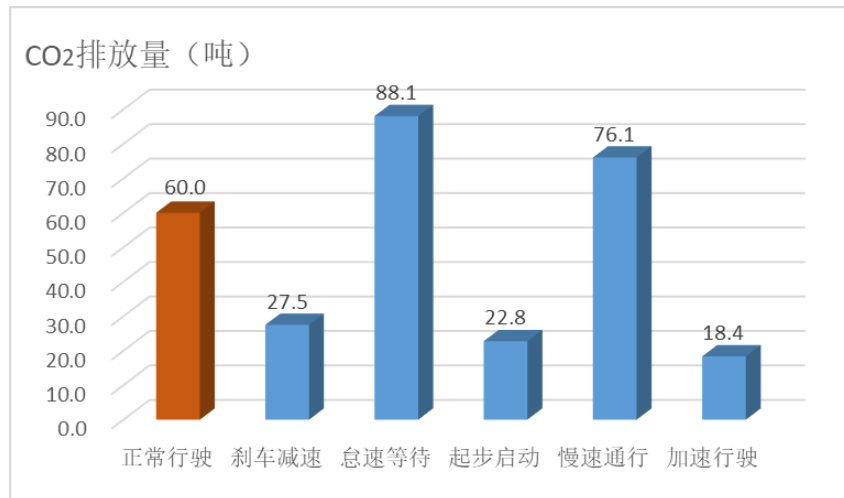


图 32 保定市东风路与阳光大街交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，东风路与朝阳大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是 172.8 吨/年，减排率为 26.3%。

(9) 交叉口⑨（东风路与恒祥大街交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

东风路与恒祥大街交叉口车道和相位详见图 33。

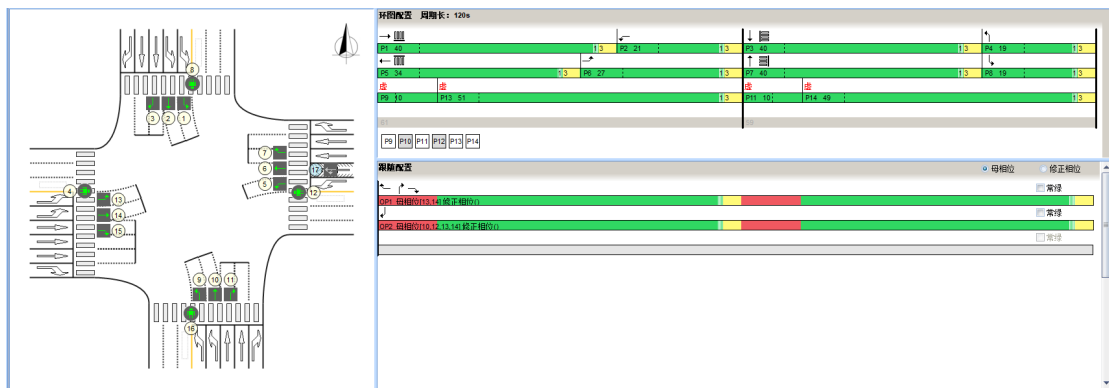


图 33 保定市东风路与恒祥大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表 11。

表 11 东风路与恒祥大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
东风路与恒祥大街交叉口	东进左转	car_count_when_green	411785
	东进左转	car_count_when_red	136732
	东进直行	car_count_when_green	1646007
	东进直行	car_count_when_red	448494
	东进右转	car_count_when_green	290019
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	455572

北进左转	car_count_when_red	206199
北进直行	car_count_when_green	694126
北进直行	car_count_when_red	373630
北进右转	car_count_when_green	39238
北进右转	car_count_when_red	0
南进左转	car_count_when_green	197752
南进左转	car_count_when_red	185576
南进直行	car_count_when_green	663987
南进直行	car_count_when_red	184221
南进右转	car_count_when_green	65048
南进右转	car_count_when_red	0
西进左转	car_count_when_green	375559
西进左转	car_count_when_red	201610
西进直行	car_count_when_green	848469
西进直行	car_count_when_red	294425
西进右转	car_count_when_green	66951
西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算东风路与恒祥大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 77.8 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 273.7 吨(包括：刹车减速 36.6 吨、怠速等待 84.5 吨、起步启动 29.5 吨、慢速通行 98.6 吨、加速行驶 24.4 吨)，详见图 34。

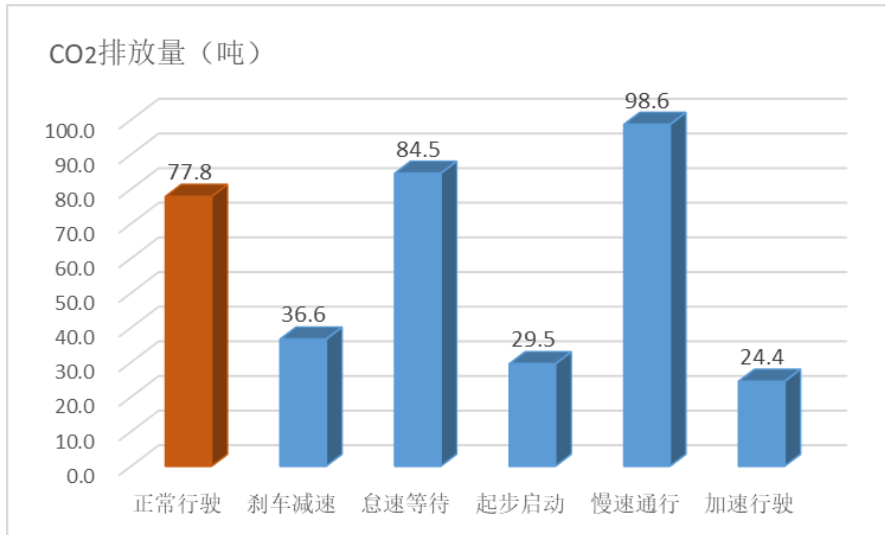


图 34 保定市东风路与恒祥大街交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，东风路与恒祥大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是 195.9 吨/年，减排率为 29.0%。

(10) 交叉口 ⑩ (天鹅路与朝阳大街交叉口)

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、北进直行、北进右转、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

天鹅路与朝阳大街交叉口车道和相位详见图 35。

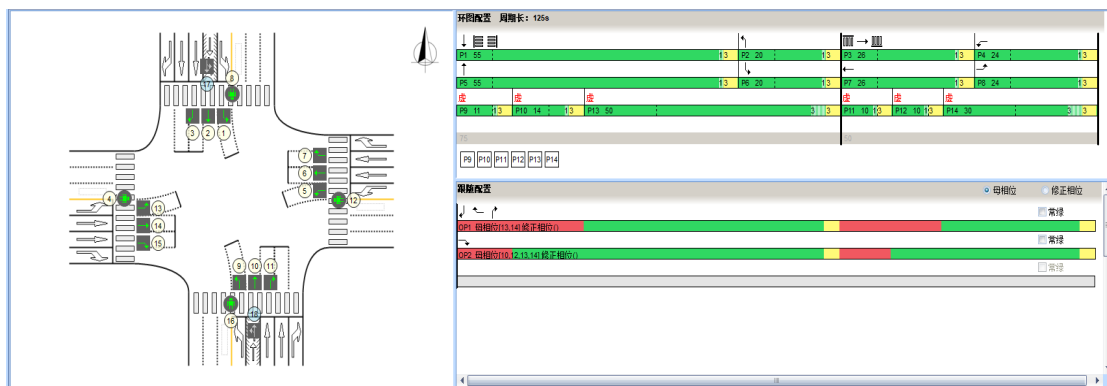


图 35 保定市天鹅路与朝阳大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表 12。

表 12 天鹅路与朝阳大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
天鹅路与朝阳大街交叉路口	东进左转	car_count_when_green	352825
	东进左转	car_count_when_red	288402
	东进直行	car_count_when_green	572529
	东进直行	car_count_when_red	511860
	东进右转	car_count_when_green	197986
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	197439
	北进左转	car_count_when_red	96569
	北进直行	car_count_when_green	1162108
	北进直行	car_count_when_red	878842
	北进右转	car_count_when_green	26228
	北进右转	car_count_when_red	0
	南进左转	car_count_when_green	105094
	南进左转	car_count_when_red	31103
	南进直行	car_count_when_green	1584439
	南进直行	car_count_when_red	502840
	南进右转	car_count_when_green	58504
	南进右转	car_count_when_red	0
	西进左转	car_count_when_green	59990
	西进左转	car_count_when_red	44999
	西进直行	car_count_when_green	309442
	西进直行	car_count_when_red	94926
	西进右转	car_count_when_green	29852
	西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算天鹅路与朝阳大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳

排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 51.2 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 225.8 吨（包括：刹车减速 29.5 吨、怠速等待 105.8 吨、起步启动 23.8 吨、慢速通行 47.1 吨、加速行驶 19.7 吨），详见图 36。

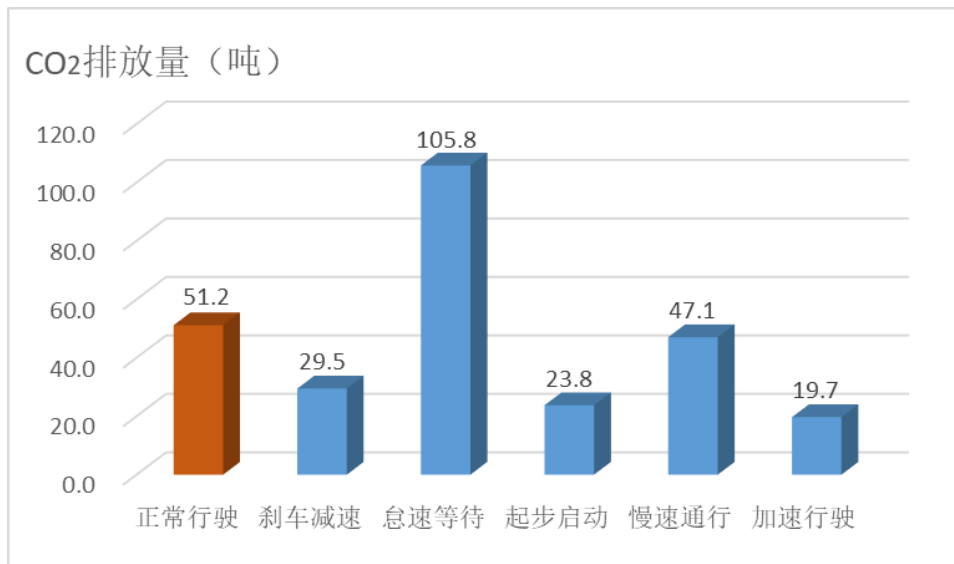


图 36 保定市天鹅路与朝阳大街交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，天鹅路与朝阳大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是 174.6 吨/年，减排率为 28.6%。

(10) 交叉口⑩（天鹅路与恒祥大街交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图等确定本路口的各方向（东进左转、东进直行、东进右转、北进左转、北进直行、北进右转、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进直行、西进右转）行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

天鹅路与恒祥大街交叉口车道和相位详见图 37。

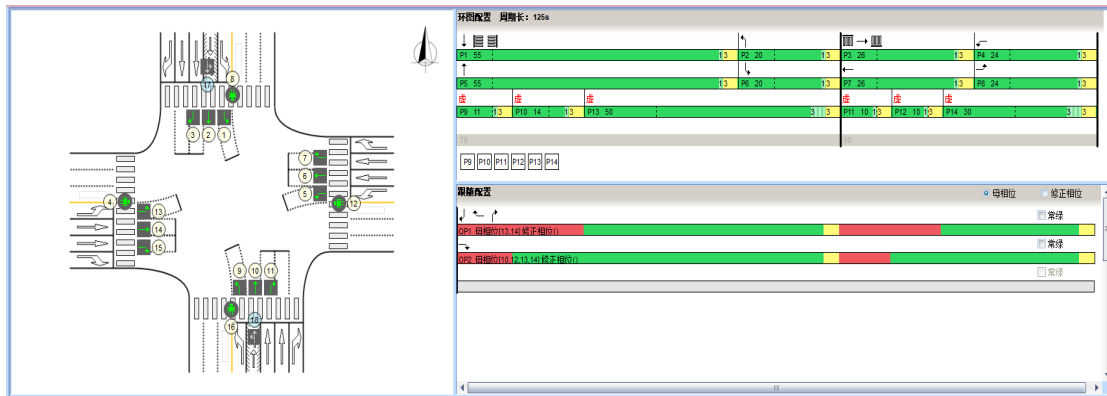


图 37 保定市天鹅路与恒祥大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，并由一周（7天）的数据扩样到一年（365天），详见表 13。

表 13 天鹅路与恒祥大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
天鹅路与恒祥大街交叉路口	东进左转	car_count_when_green	230080
	东进左转	car_count_when_red	182604
	东进直行	car_count_when_green	410208
	东进直行	car_count_when_red	171081
	东进右转	car_count_when_green	27140
	东进右转	car_count_when_red	0
	北进左转	car_count_when_green	275705
	北进左转	car_count_when_red	90794
	北进直行	car_count_when_green	1092993
	北进直行	car_count_when_red	143588
	北进右转	car_count_when_green	75607
	北进右转	car_count_when_red	0
	南进左转	car_count_when_green	390315
	南进左转	car_count_when_red	135441
	南进直行	car_count_when_green	708726
	南进直行	car_count_when_red	406897
	南进右转	car_count_when_green	105615
	南进右转	car_count_when_red	0
西进左转	car_count_when_green	87235	
西进左转	car_count_when_red	52143	

	西进直行	car_count_when_green	408044
	西进直行	car_count_when_red	58504
	西进右转	car_count_when_green	21613
	西进右转	car_count_when_red	0

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算天鹅路与恒祥大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 52.4 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 224.2 吨（包括：刹车减速 24.7 吨、怠速等待 44.2 吨、起步启动 19.9 吨、慢速通行 66.4 吨、加速行驶 16.5 吨），详见图 38。

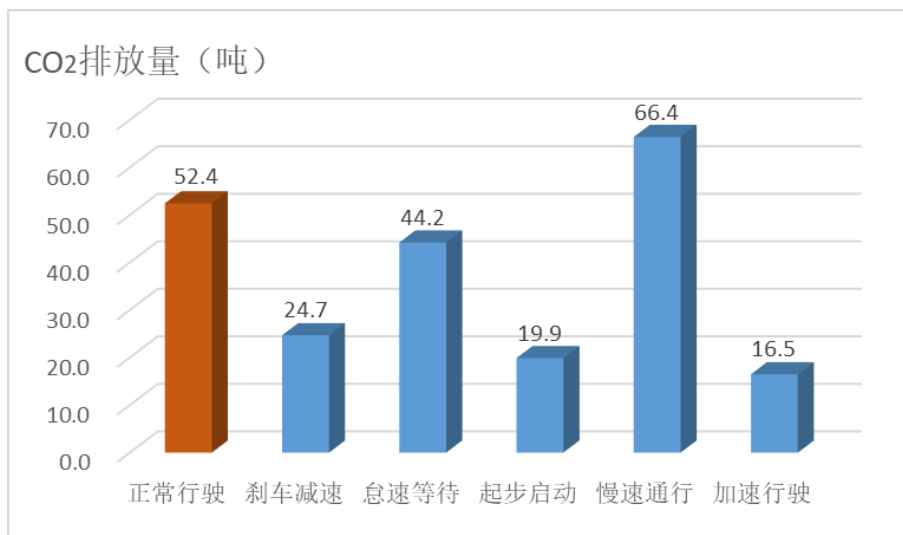


图 38 保定市天鹅路与恒祥大街交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，天鹅路与恒祥大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是 119.3 吨/年，减排率为 29.0%。

(10) 交叉口⑩（裕华路与长城大街交叉口）

1) 交叉口现状

基于百度地图、交叉路口相位图等确定本路口的各方向（东进左

转、东进直行、东进右转、北进左转、北进左转、北进直行、北进右
 转、南进左转、南进直行、南进右转、西进左转、西进直行、西进直
 行、西进右转) 行驶距离、红灯时长、绿灯时长等。

裕华路与长城大街交叉口车道和相位详见图 39。

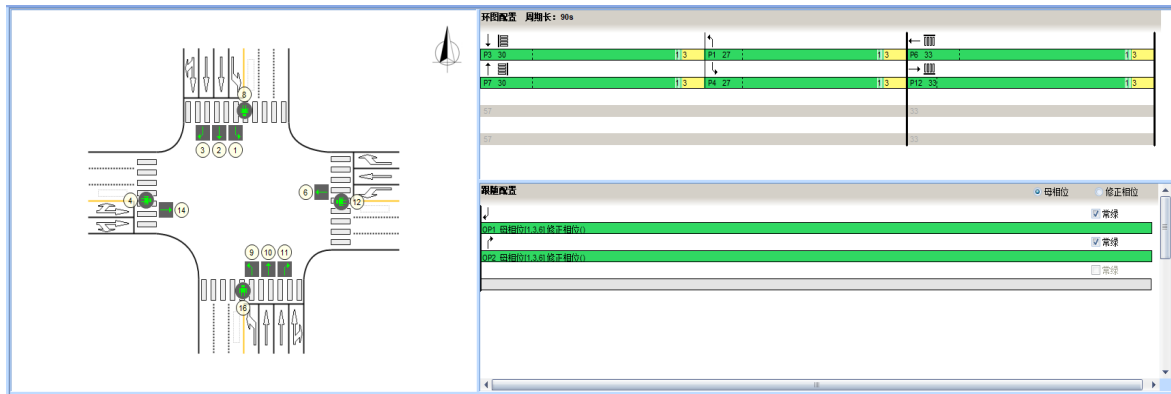


图 39 保定市裕华路与长城大街交叉口相位图

2) 建立车队模型

基于车辆排队数据、通行效率等，确定各路口、各个方向的通行
 车辆、怠速车辆，计算出该路口能产生碳减排效果的通行车辆数量，
 并由一周（7 天）的数据扩样到一年（365 天），详见表 14。

表 14 裕华路与长城大街交叉口每年能实现碳减排的通行车辆

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
天鹅路与朝阳大街交叉路口	东进左转	car_count_when_green	0
	东进左转	car_count_when_red	0
	东进直行	car_count_when_green	236364
	东进直行	car_count_when_red	51621
	东进右转	car_count_when_green	190634
	东进右转	car_count_when_red	61763
	北进左转	car_count_when_green	0
	北进左转	car_count_when_red	0
	北进直行	car_count_when_green	0
	北进直行	car_count_when_red	26
	北进右转	car_count_when_green	0
	北进右转	car_count_when_red	0
	南进左转	car_count_when_green	138361

	南进左转	car_count_when_red	58687
	南进直行	car_count_when_green	766839
	南进直行	car_count_when_red	469625
	南进右转	car_count_when_green	77928
	南进右转	car_count_when_red	57070
	西进左转	car_count_when_green	0
	西进左转	car_count_when_red	0
	西进直行	car_count_when_green	146300
	西进直行	car_count_when_red	46498
	西进右转	car_count_when_green	146300
	西进右转	car_count_when_red	46498

3) 进行模型运算

通过建立的模型，计算裕华路与长城大街交叉口在正常行驶、刹车减速、怠速等待、起步启动、慢速通行、加速行驶五种场景下的碳排放量。若车辆在正常行驶通过下的碳排放量为 21.6 吨，若车辆在路口排队后通过交叉口的碳排放量为 225.8 吨（包括：刹车减速 11.7 吨、怠速等待 19.4 吨、起步启动 9.4 吨、慢速通行 22.6 吨、加速行驶 7.8 吨），详见图 40。

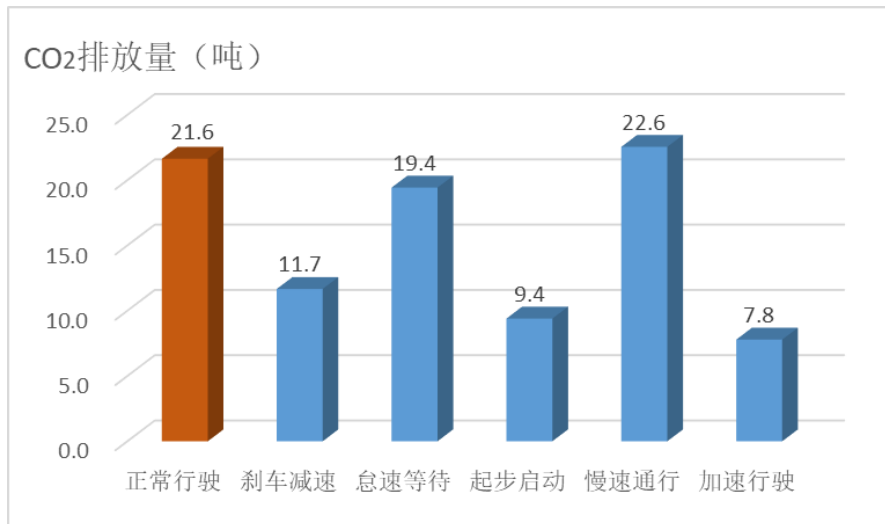


图 40 保定市裕华路与长城大街交叉口碳排放量

4) 分析减排效果

由以上可以看出，裕华路与长城大街交叉口实现的 CO₂ 减排量是

49.2 吨/年，减排率为 28.5%。

5.4 减排效果

5.4.1 碳排放量

1) 12 个交叉口排放量计算

通过核算，保定市智能交通（保定 AI 交管大脑）12 个交叉口，项目实施前的碳排放量为 2273.9 吨，项目实施后的碳排放量为 610.6 吨，实现的碳减排量为 1663.4 吨/年，详见下表 15。

综合以上数据，每个交叉路口平均碳减排量为 138.62 吨/(个·年)。

序号	城市道路交叉口名称	正常行驶碳排放(吨)	刹车减速碳排放(吨)	怠速等待碳排放(吨)	起步启动碳排放(吨)	慢速通行碳排放(吨)	加速行驶碳排放(吨)
1	三丰路与莲池大街交叉口	33.2	17.2	36.5	13.9	39.3	11.5
2	三丰路与长城大街交叉口	43.4	21.8	89.2	17.6	50.5	13.6
3	东二环与复兴路交叉口	65.0	53.5	74.4	27.7	92.8	22.9
4	东二环与东风路交叉口	80.2	39.7	47.1	32.0	95.3	26.5
5	东二环与天威路交叉口	35.6	18.7	27.1	15.0	38.9	12.5
6	东风路与向阳大街交叉口	37.8	20.7	55.3	16.7	38.1	13.8
7	东风路与朝阳大街交叉口	52.2	27.1	94.4	21.8	57.7	18.1
8	东风路与阳光大街交叉口	60.0	27.5	88.1	22.8	76.1	18.4
9	东风路与恒祥大街交叉口	77.8	36.6	84.5	29.5	98.6	24.4
10	天鹅路与朝阳大街交叉口	51.2	29.5	105.8	23.8	47.1	19.7
11	天鹅路与恒祥大街交叉口	52.4	24.7	44.2	19.9	66.4	16.5
12	裕华路与长城大街交叉口	21.6	11.7	19.4	9.4	22.6	7.8

2) 总排放量排放比例

按照保定市智能交通已实施了 176 个路口计算, 该项目实现年二氧化碳减排量为 **2.44 万吨/年**。计算如下:

$$138.62 * 176 = 2.44 \text{ 万吨};$$

按照保定市全市实施 300 个路口估算, 该项目实现年二氧化碳减排量为 **4.16 万吨/年**。

$$138.62 * 300 = 4.16 \text{ 万吨}。$$

5.4.2 碳减排率

对于能产生碳减排效果的通行车辆, 通过分别计算以上 12 个交叉路口的减排率, 介于 26.3%~30%, 所以得到平均碳减排率为 28.5%, 详见图 41。

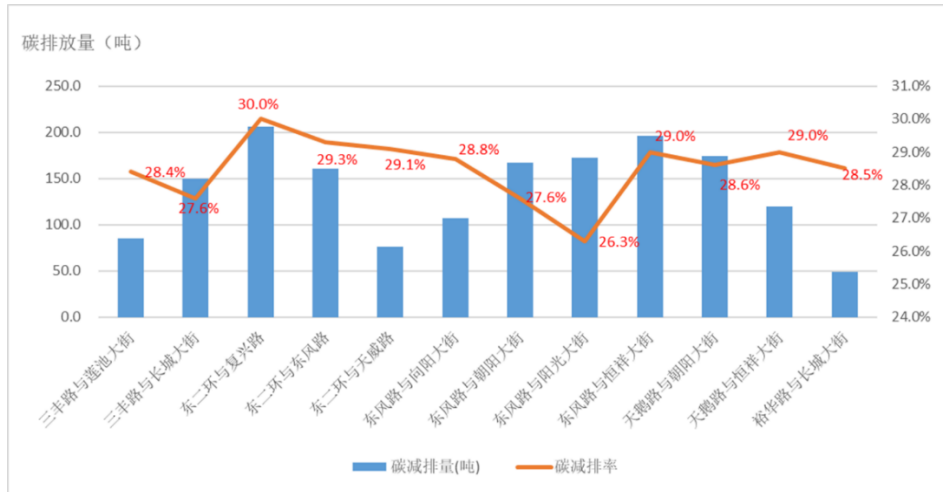


图 41 保定市 12 个交叉口碳减排率

第六章 研究结论

智能交通技术在助力交通碳减排中发挥了重要作用。基于相关资料和保定市智能信控系统的数据模拟，在该系统的实施后，这些交叉口的通行效率提高了 26%~33%，实现了二氧化碳减排 2.44 万吨/年，具有对城市交通缓堵和碳减排协同治理效果显著的特点。

但同时也发现，由于保定市智能信控系统目前的交叉口数量有限（仅 176 个）、覆盖范围十分有限、空间资源局促，直接决定了交叉口碳减排的提升空间有限，且跟保定市目前 150 万小汽车保有量及交通行业全年产生的碳排放量相比，占比较低，约占 1%。

多数研究表明，智能交通技术在助力城市交通碳减排中，效果最显著的应该是通过智能交通技术的使用，如加强交通通行诱导、发展出行即服务（MaaS）、推广自动驾驶、智慧停车等，提升了城市交通整体运行效率，但这需使用车辆 GPS 定位数据才能开展评估，建议后续应进一步跟踪评估此部分的减排效果。与此同时，通过利用大数据、5G 技术等建立了城市交通碳排放的动态监测体系，这对后期跟踪监测城市交通的碳排放将提供最重要的数据支撑。

参考文献

- [1]. 智能交通, 李彦宏. 人民出版社, 2021.
- [2]. 林雄斌, 杨家文. 城市交通拥堵特征与治理策略的多维度综合评述[J]. 综合运输, 2015, 19(8): 55-61.
- [3]. 李忠奎, 周晓航, 郭杰, 等. 中国交通低碳发展战略研究[M]. 北京: 人民出版社, 2016:168-174.
- [4]. 郭继孚, 刘莹, 余柳. 对中国大城市交通拥堵问题的认识[J]. 城市交通, 2011, 09(2):8-14. [GUO J F, LIU Y, YU L. Understanding of Traffic Congestion of big cities in China[J]. Urban Transport, 2011, 09(2):8-14]
- [5]. 李宾, 周俊. 交通拥堵的碳排放效应——以湘潭市大桥饭店路口为例[J]. 城市问题, 2017, 25(06): 48-53.
- [6]. 邹刚涛, 刘翀昊, 陆键, 等. 城市客运交通碳排放模型及场景分析[J]. 现代交通技术, 2017, 16(01): 83-88.
- [7]. Barth M, Boriboon somsin K, 邵玲. 交通拥堵与温室气体排放[J]. 城市交通, 2012, 10(1): 89-94.
- [8]. 赖承钺, 邓小芸, 贾滨洋.成都市机动车排放清单及排放特征研究[J].四川环境, 2018, 37(1):151-158.
- [9]. 程颖, 陈艳艳, 刘莹. 城市交通排放高分辨率分析方法研究——北京实证[J].交通运输系统工程与信息, 2018, 18(2):236-244.
- [10].王志高, 王江燕, 何东全. 公交优先政策对 CO₂ 排放的影响评估[J]. 城市交通, 2011, 09(4):12-20.
- [11].DB11/T 785-2011, 城市道路交通运行评价指标体系[S].
- [12].张秀媛, 杨新苗, 闫琰. 城市交通能耗和碳排放统计测算方法研究[J]. 中国软科学, 2014, 24(6):142-150.
- [13].He D Q, Meng F, Wang M Q, et al. Impacts of Urban Transportation Mode Split on CO₂ Emissions in Jinan, China[J]. Energies, 2011, 4(12):685-699.
- [14].成都市交通运输局. 成都市公交都市示范实施方案[R]. 成都: 成都市交通运输局, 2017.
- [15].李振宇, 廖凯, 李超. 城市交通碳排放监测评估体系研究[R]. 北京: 交通运输部科学研究院, 2018.

- [16].李振宇, 廖凯, 崔占伟,等. 缓解城市交通拥堵的 CO₂ 减排效益评估方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, v.20(02):12-16+23.
- [17].中华人民共和国国务院, 《2030 年前碳达峰行动方案》, 2021 年 10 月 24 日
- [18].中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见, 2021 年 9 月 22 日.
- [19].百度 ACE 智能交通助力中国碳减排, 百度公司.
- [20].关于主城区道路拥堵状况的调研报告, 保定市公安局.
- [21].保定的智能交通之路, https://www.sohu.com/a/441234934_389742.
- [22].百度地图 (保定), <https://map.baidu.com/>.
- [23].科技部, 交通运输部. “十三五” 交通领域科技创新专项规划[R]. 2017-05-02.
- [24].张扬. 我国交通运输部门碳排放及减排途径分析[J]. 环境保护, 2015(11):54-57.
- [25].哈尔滨市统计局, 国家统计局哈尔滨调查队. 哈尔滨市国民经济和社会发展统计公报 [R]. 2005-2016.
- [26].德国国际合作机构 (GIZ). 城市交通部门如何核算温室气体排放[R]. 2012-10.
- [27].国家发展和改革委员会应对气候变化司. 中国区域电网基准线排放因子[R]. 2015.
- [28].中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ37-2012: 城市道路工程设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [29].HUO H, ZHANG Q, HE K B et al. Vehicle-use intensity in China: Current status and future trend [J]. Energy Policy, 2012(43): 6-16.
- [30].IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [R]. 2006.
- [31].WUETHRICH P, SCHMIED M, KELLER M. China Road Transport Emission Model (HBEFA China): A User Guide [R]. Berne: 2014-12.
- [32].WANG, H K, FU L X, BI J. CO₂ and pollutant emissions from passenger cars in China[J]. Energy Policy, 2011, 39(5): 3005-2011.
- [33].刘俊伶, 孙一赫, 王克,等. 中国交通部门中长期低碳发展路径研究[J]. 气候变化研究进展, 2018, 014(005):513-521.
- [34].谢鸿宇, 王习详, 杨木壮, 等. 深圳地铁碳排放量 [J]. 生态学报, 2011, 31 (12): 3551-3558
- [35].韩江, 梁衡义. 城市轨道交通碳交易的应用研究[J]. 都市快轨交通, 2015, 28 (6): 35-38

- [36].广东省发改委 . 广东省企业 (单位) 二氧化碳排放信息报告指南 [EB/OL]. 2016 [2016-09-18].
<http://www.gddpc.gov.cn/zwgk/tzgg/zxtz/201602/P020160218554298444273.pdf>.
- [37].国家发改委办公厅 . 国家发改委办公厅关于开展 2014 年度单位国内生产总值二氧化碳排放降低目标责任考核评估的通知 [EB/OL]. 2015 [2016-09-18].
http://www.sdpc.gov.cn/gzdt/201504/t20150427_689392.html.
- [38]. Vissim 介绍. <https://www.ndtimes.com.cn/news/187.html>.

附件 1: 缓堵型智能交通技术 (智能信控系统部分) 碳减排评估方法说明

附件 1 缓堵型智能交通技术（智能信控系统部分）碳减排 评估方法说明

一、来源、定义和适用性条件

（一）背景

城市交通碳排放是交通行业碳排放的主体部分。城市交通及其运行效率与碳排放密切相关，严重的交通拥堵会大大增加城市交通碳排放。智能交通技术的发展是行业创新发展的大势所趋，通过科技创新，加强交通出行引导，打造智慧出行服务体系，可实现有效缓解交通拥堵，同时能促进城市交通碳减排。2021年10月，党中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中明确提出了“推广智能交通”，支持行业、企业依据自身特点开展碳排放核算方法学研究等任务。为量化评估智能交通技术助力碳减排的效益，交通运输部科学研究院和百度公益基金会等单位联合研究提出缓堵型智能交通技术碳减排评估方法学，为核算缓堵型智能交通技术助力城市交通碳减排效果提供统一的方法学。

（二）来源

本方法学适用于实施智能信控系统、交通出行引导、公众出行服务等通过利用智能交通技术打造城市智慧出行体系的活动。此方法学是第一部分：智能信控系统部分，由交通运输部科学研究院和百度公益基金会联合研究起草。

本方法学参考了下列自愿减排项目方法学的最新版本：

- 北京市生态环境局,《北京市低碳出行碳减排方法学》,2020。
- 生态环境部环境发展研究中心、中环联合认证中心,《共享骑行减污降碳报告》,2021。

- “快速公交系统 (CM-032-V01)”。
- 《公共自行车项目方法学》CM-105-V01,2016。

(三) 定义

本方法学应用了以下定义:

碳排放: 指二氧化碳排放。

缓堵型智能交通技术: 指有助于带来缓堵及碳减排效果的智能信控、交通引导、公众出行服务等打造智慧出行相关的智能交通技术。

基础年: 智能交通项目实施前的年份或最近可获得数据的年份。

评估年: 智能交通项目实施后的年份或最近可获得数据的年份。

小汽车: 指国标 GA802-2008 中定义的小型及微型载客汽车。

排放因子: 指表征单位产生或消费活动量的温室气体排放的系数。

碳减排量: 经计算得到的项目所产生的碳排放与基准线情景的排放量相比较的减少量。

碳减排率: 是指碳减排量与基准线情景的碳排放量之比。

(四) 适用性条件

1. 项目活动须在市区或一定区域范围内实施智能信控系统的交叉口展开。超出市区范围或区域范围之外或未实施智能信控系统的交叉口不纳入本市减排量计算范围内。

2. 项目范围内交叉口的交通量要区分项目实施前和项目实施后的变化，明确其变化量，交通量的车型范围主要是指小汽车，其他车型也可参考此方法进行评估。

二、基准线方法学

（一）项目边界或排放源的选择

项目边界的空间范围包括实施了智能信控系统的所有道路交叉口范围，而每个交叉口边界范围包括到交叉口的各个方向 20 米范围内及交叉口全部范围，详见下图 1。

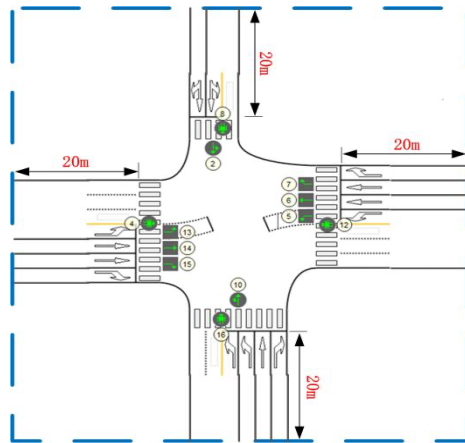


图 1 项目区域边界图

排放源的选择范围如下：

排放源	温室气体种类	是否包含	说明理由/解释
基准线排放 在智能信控系统实施前城市交通的碳排放	CO ₂	是	主要排放源。
	CH ₄	否	在化石燃料燃烧产生的碳排放中CH ₄ 占的比例很小。在计算基准线排放时的燃料消耗中忽略CH ₄ 排放是保守的。
	N ₂ O	否	N ₂ O排放在整个碳排放中是很小的源。在计算基准线排放时的燃料消耗中忽略N ₂ O排放是保守的。

排放源		温室气体种类	是否包含	说明理由/解释
项目排放	在智能信控系统实施后城市交通的碳排放	CO ₂	是	主要排放源。
		CH ₄	否	在化石燃料燃烧产生的碳排放中 CH ₄ 占的比例很小, 影响较小。
		N ₂ O	否	N ₂ O 排放在整个碳排放中是很小的源, 影响较小。

(二) 基准线情景

适用于本方法学项目的基准线情景为项目实施范围内未实施智能信控系统交叉口的碳排放情景。

(三) 额外性论证

基于项目的社会效益, 暂不考虑额外性论证。

(四) 基准线排放

基准线情景为项目活动实施前现实可行的情景, 即在未实施智能交通项目之前, 项目范围内所有城市道路交叉口产生碳排放的情景。基准线排放量分为未停车通行交通量和停车后再通行交通量的碳排放两部分。计算步骤如下:

步骤 1 确定基于车辆活动水平的排放因子 EF_i

将城市道路分为快速路、主干路、次干路和支路, 交通运行状况分为严重拥堵、中度拥堵、轻度拥堵、基本畅通和畅通五个等级。对于不同的道路类型, 交通拥堵状况对应的平均行程速度阈值不同, 例如, 对于快速路, 平均行程速度 ≤50km/h 即为拥堵 (轻度、中度和严重拥堵), 对于主干路, 则速度 ≤30km/h 为拥堵 (见附表 1)。

利用现有的排放因子和实际排放测试数据, 使用 PHEM 排放模型, 同时考虑

车辆的速度工况、道路坡度等相关因素，计算发动机功率、速度与能耗和碳排放的关系，建立各种车型对应的发动机图谱，得出典型工况对应的排放因子。综合上述车速与碳排放的测试数据，得出不同道路类型、不同服务水平下小汽车碳排放因子值（g/km）（见附图 1）。

步骤 2 收集静态车队数据 VT_q

收集项目范围内的静态车队数据，车辆按照不同类型进行分类：不同车龄（0-15 年）、燃料类型（汽油、柴油、CNG、LNG、纯电动等）、排量（小于 1.4L、介于 1.4L 和 2.0L 之间、大于 2.0L）、不同排放标准（GUO I、GUO II、GUO III、GUO IV、GUO V、GUO VI 等）的小汽车保有量数据，见表 2。

步骤 3 计算交叉口的动态交通量

项目实施范围内交叉口的动态交通量是指在智能信控系统项目实施之前通过交叉口的实际交通量 VT_q ，分为未停车通行的交通量 VT_{qn} 和停车后再通行的交通量 VT_{qv} 两类。

交通量数据需按照不同的时间、不同交叉口、不同车道等分类，一般是通过人工调查、监控系统或者 GPS 实时动态数据获取，数据的格式详见表 3。

步骤 4 确定基准线情景排放量 BE_y

排放量分未停车通行的交通量、停车后再通行交通量两类计算。基准线排放量（ BE_y ），计算如下：

$$BE_y = BE_{y1} + BE_{y2} \quad (1)$$

式中：

BE_y ：第 y 年基准线碳排放量（ tCO_2 ）；

BE_{y1} ：第 y 年未停车通行交通量基准线的碳排放量（ tCO_2 ）；

BE_{y2} ：第 y 年停车后再通行交通量基准线的碳排放量（ tCO_2 ）。

未停车通行的交通量的碳排放，计算如下：

$$BE_{y1} = \sum (VKT_i * EF_i * 10^{-3}) \quad (2)$$

式中：

VKT_i ：第 y 年第 i 类车型未停车通行交通量基准线的行驶距离 (km/年)；

EF_i ：第 y 年第 i 类车型未停车通行交通量基准线的排放因子 (g/km)。

停车后再通行交通量的碳排放，计算如下：

$$BE_{y2} = BE_{sj} + BE_{ds} + BE_{qb} + BE_{ms} + BE_{js} \quad (3)$$

式中：

BE_{y2} ：第 y 年项目碳排放量 (tCO₂)；

BE_{sj} ：第 y 年项目刹车减速阶段的碳排放量 (tCO₂)；

BE_{ds} ：第 y 年项目怠速等待阶段的碳排放量 (tCO₂)；

BE_{qb} ：第 y 年项目起步启动阶段的碳排放量 (tCO₂)；

BE_{ms} ：第 y 年项目低速慢行阶段的碳排放量 (tCO₂)；

BE_{js} ：第 y 年项目加速通行阶段的碳排放量 (tCO₂)；

(1) 刹车减速阶段

刹车减速阶段的车辆碳排放是指在车辆即将到达路口之前因前方为红灯时由城市道路平均运营时速开始刹车减速直至到达路口停驶过程中产生的碳排放。其计算方式是车辆行驶里程与排放因子之积，见公式 (4)。

$$BE_{sj} = \sum (VKT_i * EF_i) \quad (4)$$

式中： BE_{sj} 为车辆到达交叉路口前刹车减速的碳排放量，ton； i 为路口数量，个； VKT_i 为第 i 种车型的行驶距离，ton； EF_i 为第 i 种状况下的碳排放因子，g/km。

(2) 怠速等待阶段

车辆减速阶段的车辆碳排放是指在车辆在交叉口因等红灯时停车怠速时产生的碳排放。其计算方式是车辆怠速时的平均燃油消耗量与停车时间、排放因子之积，见公式 (5)。

$$BE_{ds} = \sum (FU_i * T_1 * EF_i) \quad (5)$$

式中： FU_i 为第*i*种车型单位时间的平均燃油消耗量，L/h；通过读取各交叉路口的相位图，确定红绿灯的时间， T_1 为该车道方向的交叉口红灯时长，s； EF_i 为第*i*种状况下的碳排放因子，g/km。

(3) 起步启动阶段

车辆起步阶段的碳排放是指在车辆起步加油时产生的碳排放。其计算方式是车辆行驶里程与排放因子之积，见公式(6)。

$$BE_{qb} = \sum (VKT_i * EF_i) \quad (6)$$

式中： BE_{qb} 为车辆起步阶段持续加油的碳排放量，ton；*i*为路口数量，个； VKT_i 为第*i*种车型的行驶距离，ton； EF_i 为第*i*种状况下的碳排放因子，g/km。

(4) 低速慢行阶段

车辆低速慢行阶段的碳排放是指在车辆加油启动后达到一定车速并保持此速度慢行通过路口阶段时产生的碳排放。其计算方式是车辆行驶距离与排放因子之积，见公式(7)。

$$BE_{ms} = \sum (VKT_i * EF_i) \quad (7)$$

式中： BE_{ms} 为车辆起步阶段持续加油的碳排放量，ton；*i*为路口数量，个； VKT_i 为第*i*种车型的行驶距离，ton； EF_i 为第*i*种状况下的碳排放因子，g/km。

(5) 加速通行阶段

车辆加速通行阶段的碳排放是指在车辆通过交叉口后开始继续加速行驶直至达到城市道路平均运营时速时产生的碳排放。其计算方式是车辆行驶距离与排放因子之积，见公式(8)。

$$BE_{js} = \sum (VKT_i * EF_i) \quad (8)$$

式中： BE_{js} 为车辆起步阶段持续加油的碳排放，ton；*i*为路口数量，个； VKT_i 为第*i*种车型的车公里数，ton； EF_i 为第*i*种状况下的碳排放因子，g/km。

（五）项目排放

项目排放量是在项目活动实施后评估年城市交通产生碳排放量的情景。排放因子可使用“基准线排放”中的排放因子数据库。其他计算步骤如下：

步骤 1 计算新增交通量 ΔVT

在开展项目活动之后，继续收集通过所有交叉口的实际交通量 VT_h ，并按照不同的时间、不同交叉口、不同车道进行分类。

通过与基准线排放情景的对比，计算出交叉口通行量的变化量 ΔVT ，见公式（9）：

$$\Delta VT = \Delta VT_h - \Delta VT_q \quad (9)$$

根据基准线未停车通行的交通量 VT_{qn} 与停车后再通行的交通量 VT_{qv} 之比，确定新增交通量的未停车通行的交通量 VT_{hn} 和停车后再通行的交通量 VT_{hv} 。

步骤 2 计算车队行驶里程 VKT

对于新增交叉口通行量 ΔVT ，按照不同方向、不同车道排队行驶进行分类汇总，重新计算总的车队行驶里程 VKT。按照交叉路口分方向车队，考虑车辆从到达路口之前的减速距离（如：20m）开始，至车辆通过交叉口后加速达到平稳速度之后距离（如：20m）结束，计算出 y 年各类型车辆分别在刹车减速、低速慢行、加速通行阶段的行驶里程。

步骤 3 确定评估年碳排放量 PE_y

考虑项目实施前后的评估，得出公式（10）： PE_y 为道路交叉口评估年的碳排放量，ton。

$$PE_y = PE_{y1} \quad (10)$$

PE_y : 第 y 年项目碳排放量 (tCO₂)；

PE_{y1} : 第 y 年未停车通行交通量 (VT_{hn}) 的项目碳排放量 (tCO₂)；

$$PE_{y1} = \sum (VKT_i * EF_i * 0.001) \quad (11)$$

（六）减排量

步骤 1：按照停车后再通行方法，重新计算新增交通量的碳排放量 PE_{y2} 。

$$PE_{y2} = PE_{sj} + PE_{ds} + PE_{qb} + PE_{ms} + PE_{js} \quad (12)$$

式中：

PE_{y2} ：第 y 年停车后再通行交通量（ VT_{by} ）的碳排放量（ tCO_2 ）。

PE_{sj} ：第 y 年项目刹车减速阶段的碳排放量（ tCO_2 ）；

PE_{ds} ：第 y 年项目怠速等待阶段的碳排放量（ tCO_2 ）；

PE_{qb} ：第 y 年项目起步启动阶段的碳排放量（ tCO_2 ）；

PE_{ms} ：第 y 年项目低速慢行阶段的碳排放量（ tCO_2 ）；

PE_{js} ：第 y 年项目加速通行阶段的碳排放量（ tCO_2 ）；

刹车减速、怠速等待、起步启动、低速慢行、加速通行五个阶段的碳排放量核算方法同基准线排放部分，不再赘述。

步骤 2：评估年减排量 ER_y ：

$$ER_y = PE_{y1} - PE_{y2} \quad (13)$$

式中：

ER_y ：为 y 年碳减排量（ tCO_2 ）；

PE_{y1} ：第 y 年未停车通行交通量（ VT_{bn} ）的项目碳排放量（ tCO_2 ）；

PE_{y2} ：第 y 年停车后再通行交通量（ VT_{by} ）的项目碳排放量（ tCO_2 ）。

（七）减排率

$$PR_y = - (ER_y/BE_y) \quad (14)$$

式中：

PR_y ：为 y 年评估年的碳减排率（%）。

（八）事前确定数据和参数/不需要监测数据和参数

本方法学需要事前确定的数据和参数定期更新，更新周期为一年。具体数据和参数如下：

数据/参数 1	$EF_{x,j,v}$
单位	tCO ₂ /VKM
描述	基础年 x 能源类型排量为 j、速度为 v 的小汽车的车公里排放因子
所使用的数据来源	由具备行驶工况、定位等相关专业设备的单位按照测量方法和程序测量获得
测量方法和程序	按照如下步骤： 1、测量获取城市不同道路等级的道路运行工况 2、测量不同运行工况下车辆的排放因子 3、利用模型计算该地区本地化的车辆排放因子
其他说明	

数据/参数 2	$I_{x,j}$
单位	数量
描述	基础年 x 能源类型排量为 j 的小汽车的保有量
所使用的数据来源	各地城市交管局基础年车辆库统计结果
测量方法和程序	-
其他说明	

数据/参数 3	TDL
单位	无量纲
描述	基础年的电力系统平均技术传输与分配损失系数
所使用的数据来源	按照以下优先次序选取来源： 1、地方测量（权威研究机构或项目参与方测量）； 2、相关文献
测量方法和程序	-
其他说明	

数据/参数 4	$EFCO_2, x$
单位	化石燃料为 tCO ₂ /MJ，电力为 tCO ₂ /kWh
描述	基础年能源类型 x 的碳排放因子
所使用的数据来源	按照以下优先次序选取来源：

	1、国家应对气候变化主管部门发布数据； 2、地方测量（权威研究机构或项目参与方测量）； 3、国内外文献 4、最新 IPCC 缺省值；
测量方法和程序	-
其他说明	

三、监测方法学

（一）监测程序和要求/一般监测规则

开展监测时，应当对收集的所有监测数据进行电子版存档并且至少保存至最后一个计入期结束后两年。如果在下表中没有特殊的说明，所有的数据都需要进行全部监测。所有的测量都应该采用符合相关行业标准、规范进行。另外，还要参考本方法学所涉及到的工具中的监测要求。

基准线排放的计算包括两个方面，即交叉口的实际情况和交叉口通行的动态交通量。交叉口的实际情况需要用来确定交通量各个方向的通行距离。动态交通量未停车通行和停车后再通行的交通量两部分，由视频监控、GPS 监控或人工调查来获得。项目排放的计算包括交叉口通过的动态交通量。并与之间比较，提出新增的交通量，并利用交叉口的实际情况数据，这需要在计入期内进行监测。

（二）需要监测的参数和数据

本方法学需要监测每个道路交叉口的参数和数据如下：

数据/参数 1	i
单位	辆
描述	第 y 年项目实施前范围内交叉口的通行交通量
所使用的数据来源	根据视频监控、GPS 动态数据或人工调查统计获得
测量方法和程序	合格项目开发方平台同核验平台对接
监测频率	实时监测
QA/QC 程序	采用两种以上不同渠道获取相关数据并进行交叉验证
其他说明	计算基准线情景碳排放量

数据/参数 2	X_i
单位	s
描述	每 i 个交叉口的相位数据
所使用的数据来源	通过城市智能交通信号机维护系统获得
测量方法和程序	合格项目开发方平台同核验平台对接
监测频率	实时监测
QA/QC 程序	
其他说明	计算项目情景碳排放量

数据/参数 3	k
单位	
描述	第 y 年项目实施后范围内交叉口的通行交通量
所使用的数据来源	根据视频监控、GPS 动态数据或人工调查统计获得
测量方法和程序	合格项目开发方平台同核验平台对接
监测频率	实时监测
QA/QC 程序	采用两种以上不同渠道获取相关数据并进行交叉验证
其他说明	计算项目情景碳排放量

数据/参数 4	$L_{i,j}$
单位	m
描述	第 y 年第 i 个交叉口第 j 个方向的行驶距离
所使用的数据来源	城市智能信控系统的距离信息
测量方法和程序	合格项目开发方平台同核验平台对接
监测频率	静态统计
QA/QC 程序	
其他说明	计算基准线情景和项目情景碳排放量

附件

附表 1 城市道路通行效率与车辆速度、道路类型之间的关系

交通运行状况	畅通	基本畅通	轻度拥堵	中度拥堵	严重拥堵
服务水平等级	服务水平 1	服务水平 2	服务水平 3	服务水平 4	服务水平 5
快速路	$V > 65$	$50 < V \leq 65$	$35 < V \leq 50$	$20 < V \leq 35$	$V \leq 20$
主干路	$V > 40$	$30 < V \leq 40$	$20 < V \leq 30$	$15 < V \leq 20$	$V \leq 15$
次干路、支路	$V > 35$	$25 < V \leq 35$	$15 < V \leq 25$	$10 < V \leq 15$	$V \leq 10$

附表 2 小汽车车队组成

车龄 (年)	发动机排量 (L)	小汽车数量 (辆)							
		汽油	柴油	CNG	LNG	油气混合	纯电动	油电混合	其它
0	≤ 1.4								
	1.4—2.0								
	> 2.0								
1	≤ 1.4								
	1.4—2.0								
	> 2.0								
2	≤ 1.4								
	1.4—2.0								
	> 2.0								
3	≤ 1.4								
	1.4—2.0								
	> 2.0								
4	≤ 1.4								
	1.4—2.0								
	> 2.0								
5	≤ 1.4								
	1.4—2.0								
	> 2.0								

车龄 (年)	发动机排量 (L)	小汽车数量 (辆)							
		汽油	柴油	CNG	LNG	油气混合	纯电动	油电混合	其它
6	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
7	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
8	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
9	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
10	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
11	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
12	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
13	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
14	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								
15	≤1.4								
	1.4-2.0								
	>2.0								

车龄 (年)	发动机排量 (L)	小汽车数量 (辆)							
		汽油	柴油	CNG	LNG	油气混合	纯电动	油电混合	其它
≥15	≤1.4								
	1.4—2.0								
	>2.0								
数据来源									
数据准确度 (%)									

表 3 城市道路交叉口的车辆排队数据

车道	指标	路口	排队长度	开始时间	结束时间	日期
1						
2						
3						

附表 4 交叉口新增通行交通量

路口名称	道路车道	指标	通行车辆
***** 交叉路口	东进左转	car_count_when_green	
	东进左转	car_count_when_red	
	东进直行	car_count_when_green	
	东进直行	car_count_when_red	
	东进右转	car_count_when_green	
	东进右转	car_count_when_red	
	北进左转	car_count_when_green	
	北进左转	car_count_when_red	
	北进直行	car_count_when_green	
	北进直行	car_count_when_red	
	北进右转	car_count_when_green	

	北进右转	car_count_when_red	
	南进左转	car_count_when_green	
	南进左转	car_count_when_red	
	南进直行	car_count_when_green	
	南进直行	car_count_when_red	
	南进右转	car_count_when_green	
	南进右转	car_count_when_red	
	西进左转	car_count_when_green	
	西进左转	car_count_when_red	
	西进直行	car_count_when_green	
	西进直行	car_count_when_red	
	西进右转	car_count_when_green	
	西进右转	car_count_when_red	

附图 1 小汽车车辆排放因子数据库

