

基于分时段车流量特征的交通信号灯智能协同优化研究

田飞¹, 王锦升²

(1. 海南经贸职业技术学院, 海南 海口 571127;

2. 海口经济学院, 海南 海口 571132)

摘要 依托 2024 年高教社杯全国大学生数学建模竞赛 E 题所提供的环西路与纬中路分时段车辆流量数据, 针对当前城市道路交通拥堵问题, 提出了基于流量比例法的信号灯联动优化控制方案。通过深入分析不同时间段内的车流分布特征及其变化规律, 结合绿波带协调控制理论, 科学合理地设置了经中路与纬中路多个交叉路口的动态信号配时策略。该方案有效减少了车辆在路口的平均等待时间, 显著提升了道路整体通行效率, 起到了减缓交通拥堵的效果。

关键词 分时段车流量; 绿波带控制技术; 交通信号灯

基金项目: 海南经贸职业技术学院校级课题研究成果之一 (项目编号: hnjmk202102); 海南省自然科学基金项目研究成果之一 (项目编号: 122RC731)。

中图分类号: U12

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.34.005

0 引言

2021 年 12 月 9 日, 国务院印发《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》^[1], 明确交通运输业为国民经济战略性基础产业, 强调其在构建新发展格局、保障民生福祉中的核心支撑作用。面对城市交通复杂化, 信号配时优化是交通控制系统升级关键, 信号配时参数优化是城市交通信号控制系统核心。我国城市道路具混合交通特性, 机动车、非机动车与行人交织, 使传统信号控制策略适应性差、管理效率低。所以, 构建适用于复杂交通环境的信号控制优化模型, 对缓解城市拥堵、提升出行安全性与舒适度有重要理论与实践意义。

交通信号灯配时问题一直受到广大学者的关注, 通过各个角度尝试优化交通信号灯配置, 来提高车辆通行效率, 缓解交通拥堵的压力。例如: 杨楠等^[2] (2025) 提出基于 FPGA 与 MRFO 优化算法的交通灯智能控制法,

构建控制框架并设定延时最小目标函数, 经算法寻优得最优策略, 可自适应控时、缓解拥堵。于荣等^[3] (2025) 用深度 Q 网络 (DQN) 优化信号灯控制, 将其转为强化学习问题, 实验显示改进算法成效佳, 提升效率超 20%。蒋平等^[4] (2025) 针对路口信号灯控制模式固定问题, 以 PLC 为核心, 用模拟仿真研究单个路口自适应控制, 提出改进方法, 经仿真验证, 可降低无效等待时间, 缓解拥堵, 提升通行能力。

1 分时段车流量特征分析

1.1 数据的来源与预处理方法

数据主要来源于 2024 年高教社杯全国大学生数学建模竞赛 E 题所提供的环西路与纬中路两条道路上的车辆流量数据^[5]。根据资料信息整理出经中路和纬中路上各个路口之间的距离, 如表 1、表 2 所示。

表 1 经中路由纬中路到各个路口之间的距离表

单位: 米

路名	环北路	纬一路	纬中路	环南路
路程	1 000	480	0	740

表 2 纬中路上由环西路到各个路口之间的距离表

单位: 米

路名	环西路	经一路	经二路	经三路	经中路	景区出入口	经四路	经五路	环东路
路程	0	460	800	1 240	1 660	2 190	2 750	3 180	3 450

1.2 分时段车流量数据采集与特征分析

研究选取2024年4月4日24小时车流量数据,首先通过数据清洗与异常值剔除,再根据车流量随着以小时为单位变化的折线图,将时间分成四个时段,分别为夜间平峰(01:00-7:00)、白天平峰(07:00-11:00)、白天高峰(11:00-19:00)、晚间高峰(19:00-01:00)。最后,再选择车流量最大的路口环西路一纬中路交叉路口,统计这个路口一天中各个时间段的车流量数据,如表3所示。

1.3 绿波带控制技术原理与适用性

绿波带控制技术通过协调主干道沿线信号灯相位差,让车辆以设定速度行驶时连续通过多个路口,减少停车等待。其核心原理^[6]是根据路段距离、车流速度和交通流量特征,动态调整各路口绿灯启亮时序,形成“绿波”通行区间。技术实现依赖车队传播模型,结合实时数据计算最优信号配时方案。该技术主要用于联结城市中心区与郊区、卫星城镇的干线道路,或城市内部车流量稳定的主干道,适合车流方向性明显、交叉口间距适中的场景。实际应用中需结合实时监测数据动态优化参数,以应对车流波动和突发事件干扰,保障通行效率并提升道路资源利用率。

2 基于流量比例的动态配时策略

对环西路一纬中路交叉路口信号灯配时,流量比例配时模型^[7]为:

表3 环西路一纬中路交叉口一日五时段各个相位车流量统计表

时段名称	相位1(由东向西)	相位2(由西向东)	相位3(由南向北)	相位4(由北向南)	合计
夜间平峰(01:00-7:00)	854	663	476	595	2 588
白天平峰(07:00-11:00)	4 038	2 850	2 557	2 881	12 326
白天高峰(11:00-19:00)	12 446	11 159	7 100	9 255	39 960
晚间高峰(19:00-01:00)	5 866	4 994	2 589	2 593	16 042

表4 环西路一纬中路交叉路口各个相位绿灯设置时长表

时段名称	相位1(由东向西)	相位2(由西向东)	相位3(由南向北)	相位4(由北向南)
夜间平峰(01:00-7:00)	39.6	30.7	22.1	27.6
白天平峰(07:00-11:00)	39.3	27.7	24.9	28.1
白天高峰(11:00-19:00)	37.4	33.5	21.3	27.8
晚间高峰(19:00-01:00)	43.9	37.4	19.4	19.3
全天绿灯平均时长	40.0	32.3	22.0	25.7

表5 纬中路上车辆由环西路到各个路口之间的时间表

时间	环西路	经一路	经二路	经三路	经中路	景区出入口	经四路	经五路	环东路
t	0	32	56	86	116	152	191	221	240

$$T_{g-i} = \frac{Q_i}{Q} \times T_c \quad (1)$$

式(1)中: T_{g-i} 表示第*i*个方向绿灯时长, Q_i 表示第*i*个方向车流量, Q 表示该交叉路口总的车流量,即:所有方向车流量之和, T_c 表示整个信号灯的周期。

假设每个交叉口信号灯在每个时间段的周期是固定的,而且信号灯的周期 $T_c=120$ 秒。根据上述模型,借助于matlab软件,计算出环西路一纬中路交叉路口各个相位绿灯设置时长如表4所示。

环西路一纬中路交叉路口由东向西绿灯配时为40秒,由西向东绿灯配时为32秒,由南向北绿灯配时为22秒,由北向南绿灯配时为26秒。

3 绿波带与区域信号联动机制

3.1 纬度中路各交叉路口绿灯信号灯亮起的时间绿灯延迟亮起的时间:

$$t_{g-i} = \frac{S_i}{v} \quad (2)$$

式(2)中: t_{g-i} 第*i*个路口绿灯亮起的延迟时间, S_i 为上一个路口到第*i*个路口的距离, v 是车辆在路上行驶的速度。

假设城市道路最高限速为60千米/小时,取绿波速度 $v \approx 52$ 千米/小时。则车辆由环西路到达第*i*个路口所需的时间如表5所示。

为保障车辆从环西路驶入纬中路实现全程绿波通

行,系统采用分相位协调控制策略:经一路口相位 1 绿灯信号比环西路相位 1 绿灯启亮时刻延迟 32 秒开启,经二路口相位 1 延迟 56 秒,经三路口相位 1 延迟 86 秒,后续路口以此类推。通过该时序规划,可确保环西路方向车流在纬中路上连续通过多个路口无需停车。

反之,对于从环东路驶入纬中路的车辆,系统运用反向协调机制:经一路口相位 2 绿灯信号比环西路相位 2 绿灯启亮时间提前 32 秒开启,经二路口相位 2 提前 56 秒,经三路口相位 2 提前 86 秒,后续路口依此类推。这种配置能确保环东路方向车流在纬中路上获得连贯通行权,实现双向绿波控制效果。

为了确保纬中路上双向绿波正常运行,优先设置纬中路上各交叉口相位 1、4 绿灯亮起的时间,然后再设置相位 2、3 绿灯亮起的时间,纬中路上部分交叉口

各相位绿灯时间设置情况如表 6 所示。

3.2 经中路各交叉路口绿灯信号灯亮起的时间

以经中路一纬中路交叉路口为中心,利用前面的数学模型,计算出车辆由经中路一纬中路交叉路口出发分别到达经中路上各个交叉路口的时间,如表 7 所示。

接着表 6,继续对经中路上各信号灯进行配时,以经中路一纬中路交叉路口为中心分别向环北路和环南路方向进行配时,如表 8 所示。

4 结束语

针对城市交通拥堵问题,依托环西路与纬中路分时段车辆流量数据,开展交通信号灯智能协同配时优化研究。通过分析多时段车流分布特征,结合绿波带理论,提出基于流量比例法的信号灯联动优化方案。对环西

表 6 纬中路上部分交叉口各相位绿灯时间设置情况表

相位	环西路		经一路		经二路		经三路		经中路	
	开始	结束	开始	结束	开始	结束	开始	结束	开始	结束
1	00:00	00:40	00:32	01:12	00:56	01:36	01:26	02:06	01:56	02:36
2	01:06	01:38	01:12	01:42	02:02	02:34	02:06	02:38	03:02	03:24
3	01:38	02:00	01:42	02:04	02:34	02:56	02:38	03:36	03:24	03:56
4	04:40 (00:40)	01:06	04:04 (02:04)	02:32	03:36 (01:36)	02:02	03:08	03:26	02:36	03:02

表 7 经中路上车辆由经中路一纬中路交叉路口到各个路口之间的时间表

时间	环北路	纬一路	纬中路	环南路
t	70	24	0	50

单位:秒

表 8 纬中路上部分交叉口各相位绿灯时间设置情况表

相位	环北路		纬一路		纬中路		环南路	
	开始	结束	开始	结束	开始	结束	开始	结束
1	02:58	03:50	03:00	03:48	01:56	02:36	03:22	03:52
2	01:50	02:12	02:38	03:00	03:02	03:24	03:52	04:34
3	04:36 (02:36)	02:58	03:48	04:10	03:24	03:56	02:34	02:56
4	02:12	02:36	02:10	02:38	02:36	03:02	02:56	03:22

路一纬中路交叉路口,运用流量比例配时模型计算各相位绿灯时长;构建纬中路与经中路的绿波带与区域信号联动机制,分方向协调各路口绿灯亮起时间。最终结果表明,经优化后的信号配时,车辆在经中路与纬中路按适当车速行驶,可顺利通过全部信号灯,有效减少等待时间,提高通行效率,显著减缓交通拥堵。

参考文献:

[1] 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知[Z].<https://www.mot.gov.cn/zhuanti/shisiwujtysfzgh/>,2025,10.

[2] 杨楠,肖军.基于FPGA与MRFO算法的交通信号灯智能控制方法[J].现代电子技术,2025,48(20):51-55.
 [3] 于荣,郑福.基于深度Q网络改进交通信号灯控制设计与实现[J].渤海大学学报(自然科学版),2025,46(02):134-141.
 [4] 蒋平,柴发宝,谢梓诚.基于PLC的交通信号灯自适应控制研究[J].公路交通技术,2025,41(03):213-222.
 [5] 全国大学生数学建模竞赛历年试题[EB/OL].https://www.mcm.edu.cn/index_cn.html,2025,10.
 [6] 冯所伟,田飞.基于大数据的交通绿波带发展研究[J].运输经理世界,2024(36):61-64.
 [7] 贾雨竹.基于路段交通量构成比例的方向指示信号动态配时研究[D].成都:西南交通大学,2017.