



信号控制方案优化与设备数据分析

(花博会信号柜数据分析项目)

姓名：_____ 赵冠华 _____ 郭宇峥 _____

学号：_____ 1852127 _____ 1852125 _____

提交日期：_____ 2021. 10. 14 _____



摘要：上海市崇明区作为花博会举办地，加上其自身旅游业发展，吸引着许多来自全国各地的游客，也是上海市内人们假期旅行的主要目的地。超大型活动举办期、中秋国庆等小长假给崇明岛带来巨大的交通量。为了响应国家生态建设目标，崇明启动了许多配套项目。在交通信号控制方面，崇明使用 SCATS 控制系统对交通信号进行控制，并采用了“绿波带”的区域协调控制方案。自 2021 年 6 月 4 日起，该系统正式投入使用，围绕系统目前运行情况，小组成员前期了解信息，制定测试方案，之后进行实地测试，收集真实且详细的交通状况数据信息；咨询专家得到系统目前使用情况；在交警协助下拿到 SCATS 原始数据，直接分析后又结合仿真软件对数据进行深度挖掘。整理分析结果之后结合所学知识对提出具体的优化方案以及未来发展展望。

关键词： 城市交通；信号控制方案；评价指标；道路交通噪声



目录

摘要.....	1
1. 背景与问题分析.....	4
2. 测试评价.....	6
2.1. SCATS 系统数据采集.....	6
2.2. 专家咨询.....	6
2.3. 实地调研测试.....	6
2.3.1. 测试时间.....	6
2.3.2. 测试地点.....	6
2.3.3. 测试目标.....	7
2.3.4. 测试对象.....	7
2.3.5. 测试工具.....	7
2.3.6. 测试方法.....	7
2.4. 实验室仿真.....	8
2.4.1. 仿真软件——PTV-VISSIM 7.0.....	8
2.4.2. 仿真数据.....	8
2.4.3. 仿真过程.....	8
3. 测试结果分析与可视化.....	11
3.1. 线圈数据分析.....	11
3.2. 专家咨询结果分析.....	19
3.3. 仿真结果分析.....	19
3.3.1. 出行时间.....	19
3.3.2. 静态停车延误与停车次数.....	20
3.3.3. 排队长度.....	21
3.4. 数据深度利用——生态指标分析.....	22
3.4.1. 指标选择.....	22
3.4.2. 道路交通噪声的微观交通流分析方法.....	22
3.4.3. 环境污染测试结果——噪声污染情况分析.....	24



3. 5. 其余指标	25
4. 信号控制方案优化方法手段.....	26
4. 1. SCATS 系统简介.....	26
4. 2. SCATS 系统组成.....	26
4. 2. 1. 路口控制.....	27
4. 2. 2. 地区控制.....	28
4. 2. 3. 中央控制.....	28
4. 2. 4. 系统控制.....	28
4. 3. 基于定时控制的区域协调控制方案优化	29
4. 3. 1. “绿波带” 原理.....	29
4. 3. 2. 调整时段划分以及其对应的绿波协调时间.....	29
4. 3. 3. 调整定时信号周期与绿信比.....	30
4. 4. 基于可变信号的区域协调控制优化	30
4. 4. 1. 单进口道三状态划分.....	30
4. 4. 2. 可变信号控制逻辑设计.....	32
4. 4. 3. 状态检测设备支持与原理.....	32
4. 4. 4. 局限.....	34
4. 5. 信号控制优化小结	34
5. 结语.....	35
6. 参考文献.....	35



1. 背景与问题分析

上海市作为中国经济、交通、科技、工业、金融、贸易的中心，每年都举办一些超大型活动，这类活动的举办可以给城市带来良好的发展机遇和巨大的经济效益，但与此同时也会带来巨大的交通量，人流车流的聚集给城市交通带来巨大挑战。



图 1 崇明花博会

中国花卉博览会(简称“花博会”)让原本就是上海市旅游热门地点的崇明岛更加具有吸引力，为了迎接岛外游客入岛，减少交通压力，保障花博会期间以及节假日期间道路安全通畅，积极践行生态优先的绿色发展理念，上海市实施了多个花博会配套项目，积极疏通交通“毛细血管”，完善崇明交通线网骨架。目前五条配套道路已全面建成，累计总里程 160 余公里，总投资 133.1 亿元，采用 SCATS（悉尼协调自适应交通系统）对交通信号进行控制。

2021 年 10 月 1 日，国庆假期第一天 G1503 绕城高速高东收费口如约开启拥堵模式，出城车流在五洲大道排起长龙，导航显示，从 30 号晚上起五洲大道往高东收费口方向就一直维持红色状态，部分情况出现每小时车辆移动 100m 的拥堵状态、车辆排队长度长时间超 6 公里。车辆拥堵带来的浪费时间、消耗燃油、事故高发等危害不仅影响出行效率，引起经济社会诸项功能的衰退，还将引发城市生存环境的持续恶化。

在基础设施建设基本完成、交通需求量无法降低的情况下想要积极响应生态建设，对接世界级生态岛建设要求，充分利用 SCATS 系统数据，灵活采用控制方案与其他 ITS（智能交通系统）配合适应多种交通状况就成了必然选择，有很大



研究价值。

本次实习结合花博会附近交通状况以及现有数据,选择陈海公路和斜桥路交叉口作为主要研究对象,在交警部门的支持下拿到 SCATS 系统使用初期 6 月、中秋小长假和国庆小长假前三天的原始数据以及现有信号配时方案,对现有信号控制方案进行评价,查阅相关文献确定信号控制方案优化方法手段,并用 VISSIM 仿真软件对优化方案进行检验。



2. 测试评价

整个测试评价过程分 SCATS 系统数据采集、专家咨询、实地调研、实验室仿真四个板块。

2.1. SCATS 系统数据采集

采集地点：崇明区交警中心

采集数据：2021 年 6 月（系统使用初期）、中秋假期（2021 年 9 月 21 日—23 日）、国庆假期前三天（2021 年 10 月 1 日—3 日）所有研究路口的线圈数据。

数据整理与分析结果见 3.1。

2.2. 专家咨询

向负责该项目的交警咨询系统安装使用的实际情况，将有用信息整理如下：

- （1）得到重点研究的交叉口信号配时与区域协调绿波带的参数信息
- （2）了解到众多交叉口实际信号配时大多是由交警根据经验进行设定，相对而言没有市内交叉口信号配时精细。
- （3）系统还在测试调整阶段，但缺乏对系统整体比较了解的人员，系统出现问题需要调试时要频繁与商家联系。

2.3. 实地调研测试

对于选取的核心交叉口，采取视频拍摄与人工计数统计相结合的方法进行评价。评价参数选取优化控制器启用前后各一周早晚高峰工作日的交叉口交通流量参数、交叉口行程车速参数、交叉口

2.3.1. 测试时间

2021 年 10 月 4 日—5 日

2.3.2. 测试地点

建设公路海洪南路路口以及在建设公路此交叉口上下游 500m 内的道路



2.3.3. 测试目标

得到选取的核心交叉口交通地理信息细节数据、实际交通状况以及区域协调控制效果。

2.3.4. 测试对象

- (1) 核心交叉口地理信息细节以及生态数据
- (2) 区域协调控制下通过多路口的整体停车次数
- (3) 交叉口交通状况包括早晚高峰的流量与排队长度、行程车速（行程时间）、停车延误
- (4) 交叉口高峰期视频

2.3.5. 测试工具

计算机、秒表、摄像机、车辆计数器、视觉惯性测距仪、分贝测试仪、浮动车、三脚架

2.3.6. 测试方法

(1) 三位调查员使用三个视觉惯性测距仪，对现场几何数据进行测量，并取平均值消除误差。在进出口道使用分贝测试仪，其仪器数据同时包括分贝值与视频，有利于进一步分析。

(2) 在早晚高峰时间，使用浮动车在核心交叉口上下游 500m 范围内多次行驶，调查员在车内采集真实的行程时间，停车次数，排队长度，交叉口等待时间等数据。

(3) 在核心交叉口陈海公路方向两个进口道架设摄像机，采集视频数据，测试结束返校后对视频数据进行分析，得到早晚高峰的流量与排队长度、行程车速（行程时间）、停车延误等交叉口交通状况信息。



2.4. 实验室仿真

由于目前 SCATS 能得到是数据仅仅为线圈数据处理之后的流量数据，不便于对交通状况开展进一步研究，而实地调研得到的数据较多但费时费力，以周为时间刻度甚至以月为时间刻度进行数据采集处理不现实。因此利用交通仿真软件，将已知信息作为前提条件对核心交叉口交通状况进行仿真，以便对信号控制方案进行更深入更全面的分析

2.4.1. 仿真软件——PTV-VISSIM 7.0

PTV-VISSIM 是一种微观的、基于时间间隔和驾驶行为的仿真建模工具，用以城市交通和公共交通运行的交通建模。它可以分析各种交通条件下，如车道设置、交通构成、交通信号、公交站点等，城市交通和公共交通的运行状况，是评价交通工程设计和城市规划方案的有效工具。

2.4.2. 仿真数据

- (1) 实地调研得到的核心交叉口物理几何数据
- (2) 从交警中心得到的 SCATS 系统线圈数据与信号配时数据
- (3) 依据实际调研结果和对线圈数据所处时刻交通管控措施的研究，推断得到车辆类型组成与比例

2.4.3. 仿真过程

首先利用测量的物理几何数据在软件中对建设公路海虹南路路口进行建模，设置车辆类型、路径决策点，输入已知的流量数据，根据时间段设置不同的信号方案，并布置数据采集点、节点等工具，以采集得到仿真过程中北向南与南向北两个方向路口车辆的排队长度、车辆延误、车辆速度、停车次数等关键评价指标，其中可以将车辆速度套入上述 ASJ-RTN 2008 单车噪声排放模型中，得到路口噪声指标。

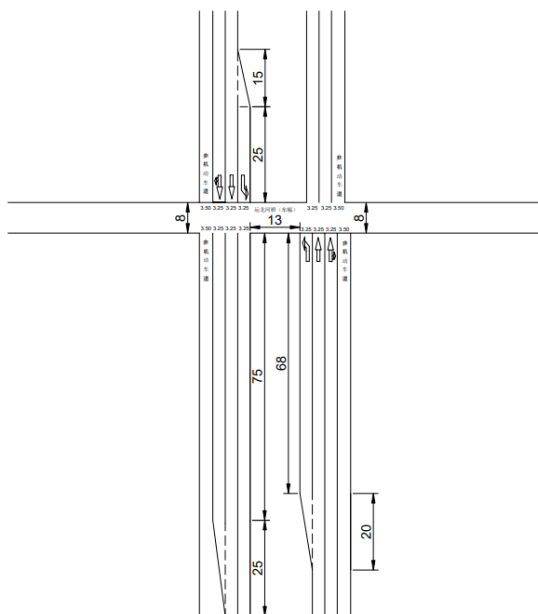


图 2 建设公路海洪南路路口几何物理数据 (单)

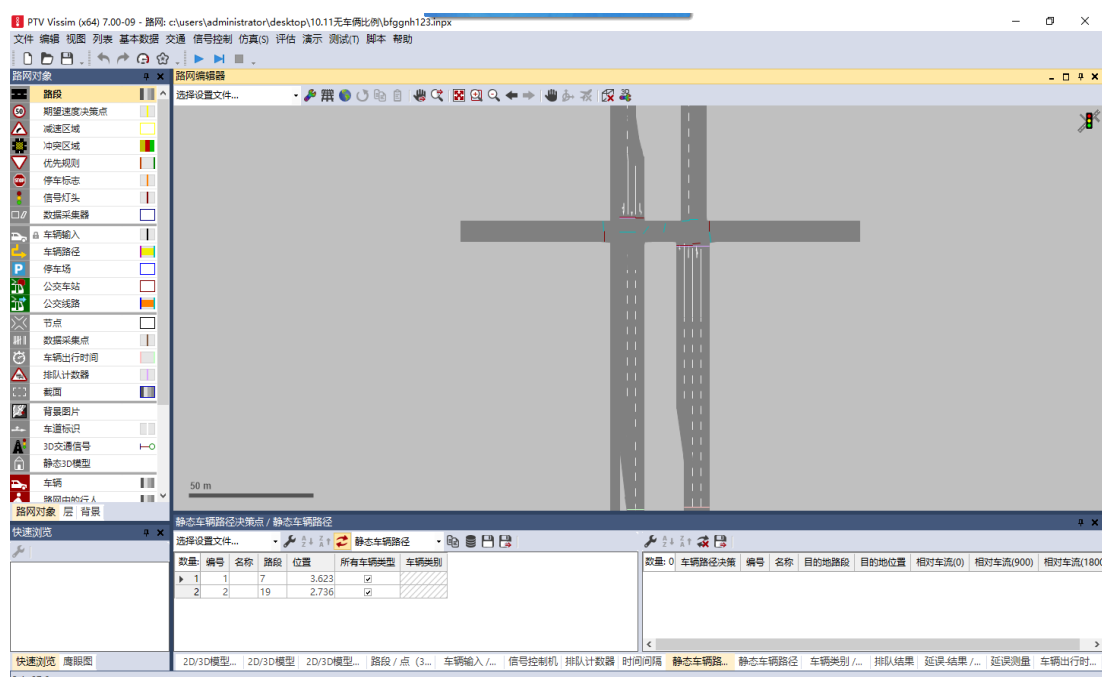


图 3 PTV-VISSIM 路口建模

在设置车辆组成时，我们注意到崇明花博会设置了许多交通管制，并在五月底开通了多条旅游专线，同时增设了岛内公交，具体设置如图 4 所示，在增设的公交线路中，只有“南东专线”与目标交叉口有关，其具体路线为南门汽车站-花博园北 P1 停车场(经建设公路)-前卫村，往花博园方向发车时间 4:55-19:15，返程发车时间 4:55-19:30（详细信息如图 14 所示）。



图 4 花博会期间崇明岛公共交通线路示意图与南东专线详细信息

由于无法得到南东专线具体的发车数量,并且还存在大量乘旅游大巴出行的情况,我们借鉴了媒体报道的数据:“记者从花博会交通保障现场指挥部获悉,全天共开通 4 条花博专线和 5 条花博定制巴士,配置车辆 214 辆。此外,岛内 8 条常规公交线路延伸进花博园北 p1,全天预约入园旅游大巴 244 辆。入园交通统计中集约交通方式运送 19634 人次,占比 77%。小汽车 3906 人次,其他方式 1538 人次。”根据此数据计算得出公交与大巴车辆占比约为所有车辆的 22%,同时出于已经讨论过的建设公路海洪南路路口的地理位置(位于远端停车场之一与花博会园区中间)、交通管制以及接驳车辆的考虑,我们将公交/大巴类型的车辆比例设置为 25%,称其为 A 组。

除此之外,我们还设定了城市路口正常比例的车辆组成以进行对比分析,以下称其为 B 组。

输入 6 月 5 日高峰小时的实际流量并设置对应的成比例的路径决策方案,得到相关出行时间、停车次数、车辆平均延误、排队长度、停车数目等数据。由于建设公路海洪南路路口的进口道分别为一个左转车道、一个直行车道、一个直行和右转合用车道,因此这里在讨论数据时共涉及两条直行车道。



3. 测试结果分析与可视化

3.1. 线圈数据分析

从 SCATS 系统图形界面可以下载得到以五分钟为时间间隔的固定路口流量数据，如图 5 所示。

Site: 12061 星期五, 1 十月 2021 Traffic Flow filename: CMD_20211001.VS												
Friday, 01 October 2021												
Approach 1, Detector: 1												
	00:	01:	02:	03:	04:	05:	06:	07:	08:	09:	10:	11:
:05	1	0	1	0	0	1	0	2	3	9	7	3
:10	1	0	0	3	1	1	3	3	5	8	6	3
:15	0	0	1	1	0	2	1	6	7	5	5	3
:20	1	1	0	1	0	3	2	5	11	5	5	1
:25	1	0	1	0	0	0	2	5	9	5	4	5
:30	0	0	1	1	0	0	1	6	5	5	10	6
:35	1	0	0	0	0	1	4	7	1	2	2	5
:40	2	2	0	0	0	0	3	9	4	6	4	3
:45	1	0	0	0	0	0	2	8	2	9	5	2
:50	1	1	1	0	0	1	3	11	5	7	1	3
:55	0	1	0	1	0	0	8	6	7	2	5	5
:60	1	2	0	1	7	1	6	4	8	8	9	2
Hourly												
Total	10	7	5	8	8	10	35	72	67	71	63	41
AM Total: 397 AM peak 86 07:25 - 08:25												
	12:	13:	14:	15:	16:	17:	18:	19:	20:	21:	22:	23:
:05	3	2	5	5	4	3	6	3	6	5	2	2
:10	2	6	2	7	3	1	3	5	6	3	1	0
:15	4	9	6	3	8	4	2	7	2	2	4	0
:20	2	6	6	6	3	6	8	7	9	7	3	1
:25	7	4	5	7	9	4	5	4	4	3	1	4
:30	4	3	5	2	8	4	3	6	5	1	2	0
:35	2	3	5	2	5	1	1	5	6	1	2	1
:40	6	3	7	3	8	3	9	2	5	3	5	0
:45	2	6	1	6	5	12	9	8	2	5	0	1
:50	8	1	8	7	7	12	11	5	5	3	0	0
:55	6	4	8	7	12	7	8	3	2	3	1	0
:60	1	11	7	5	9	2	3	1	2	2	0	1
Hourly												
Total	47	58	65	60	81	59	68	56	54	38	21	10
PM Total: 617 PM peak 81 16:00 - 17:00												
Daily Total 1014												

图 5 SCATS 系统路口流量数据

由于已知时间段所采用的信号周期、绿信比方案以及各检测器的位置，如图 6 与表 2 所示，可以对其进行可视化分析。

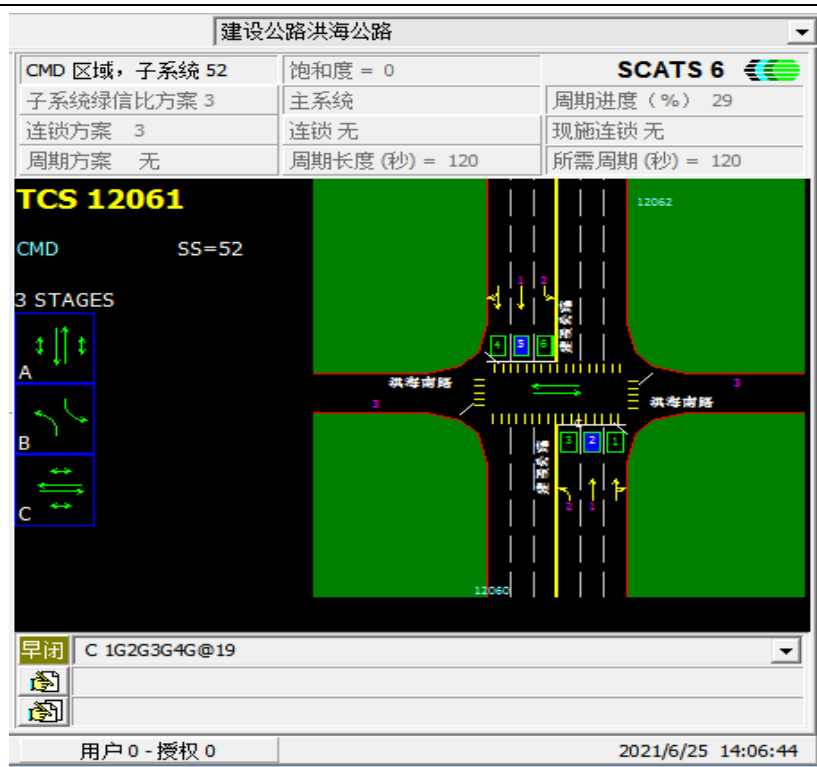


图 6 信号相位与检测器部署位置

表格 1 建设公路海虹南路路口信号方案设置

相位时长 (s)	A	B	C	绿波协调时长 (s)
方案一：07:30-12:00	84	26	30	8
方案二：12:00-21:00	84	26	30	60
方案三：21:00-07:30	70	20	30	

所获得的数据为 2021 年 6 月 4 日至 6 月 24 日期间 12061 路口（即上海市崇明区建设公路海虹南路交叉口）上 6 个检测器的车流量数据，时间间隔为 5 分钟。

观察数据 6 月 10 日 12:10-12:50 数据、6 月 13 日 20:15 起至 6 月 17 日中午 9:55 数据出现错误，提示“BAD”。

首先，得到不同检测器日总车流量折线图如图 5 所示。观察发现，检测器 2、4、5 每日车流量约为 2000~3000 辆上下，而检测器 1 在 800 辆/日，检测器 3、6 分别在 200 辆/日与 500 辆/日。结合检测器的布设位置，其规律符合现实情况，而从 6 月 4 日至 6 月 24 日期间，日总车流量在周五与周六出现小高峰，周中车流量则相对较低。

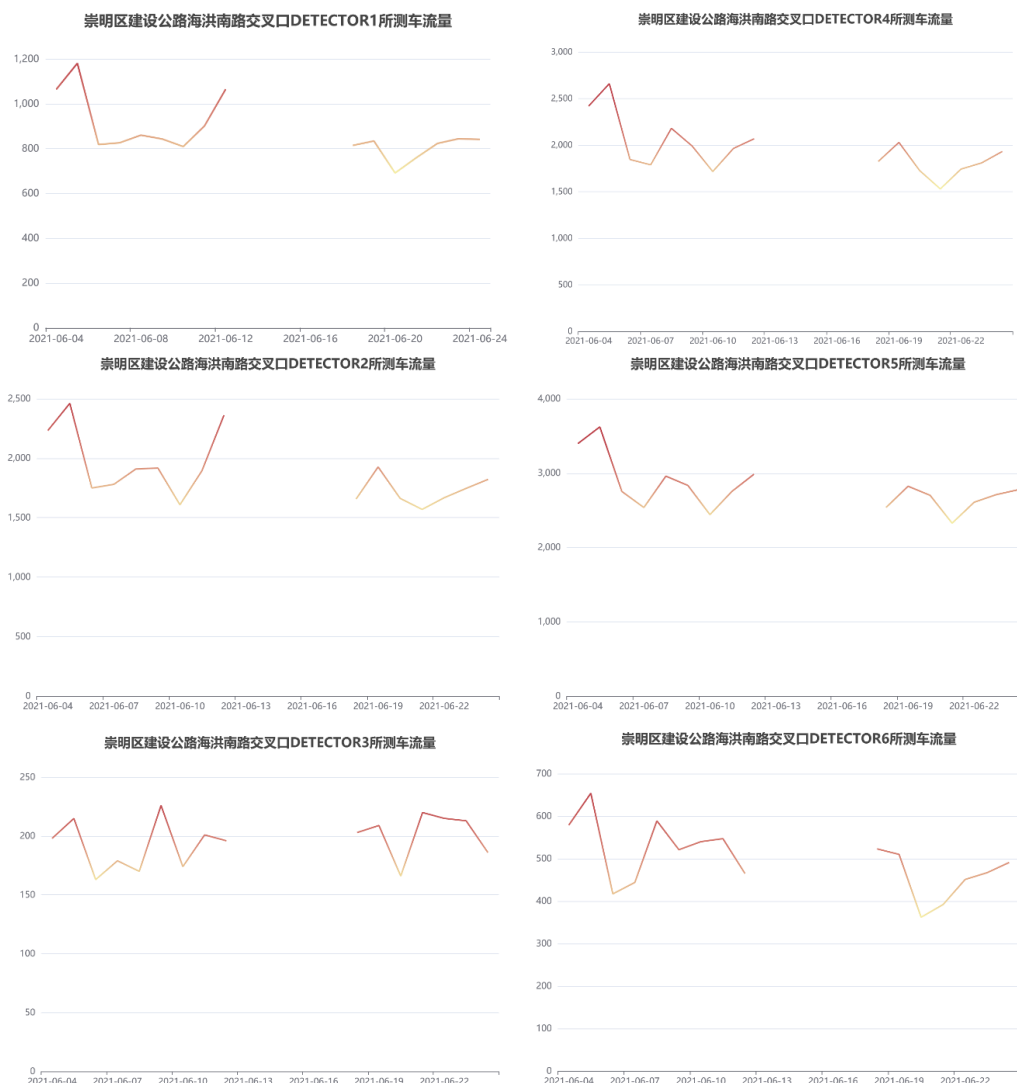


图 7 不同 DETECTOR 日总车流量折线图

不同检测器车流量最高小时的日分布如图 6 所示。观察发现，检测器 1、2、3（即前往花博会园区的方向）的最高车流量主要出现在上午 8:00–9:00，较为集中；检测器 4、5、6（即离开花博会园区的方向）的最高车流量主要出现在下午 15:00–16:00 与夜间 21:00，分布较检测器 1、2、3 更为分散。

以 6 月 4 日（周五）、6 月 5 日（周六）、6 月 6 日（周日）各检测器各小时检测流量为例，采用相同的颜色比例尺，绘制交通态势图，结果如图 9 所示。对比发现，经过目标路口前往花博会园区的车辆集中在上午 9:00 附近，且满足：周六车流量>周五车流量>周末车流量；经过目标路口离开花博会园区的车辆则有两个小高峰，主高峰在下午 16:00，次高峰在晚上 20:00 附近，同时，周五的小时车流量分布较周六更为集中；有周日的整体车流量更小、下午高峰较早高峰更



突出的规律。

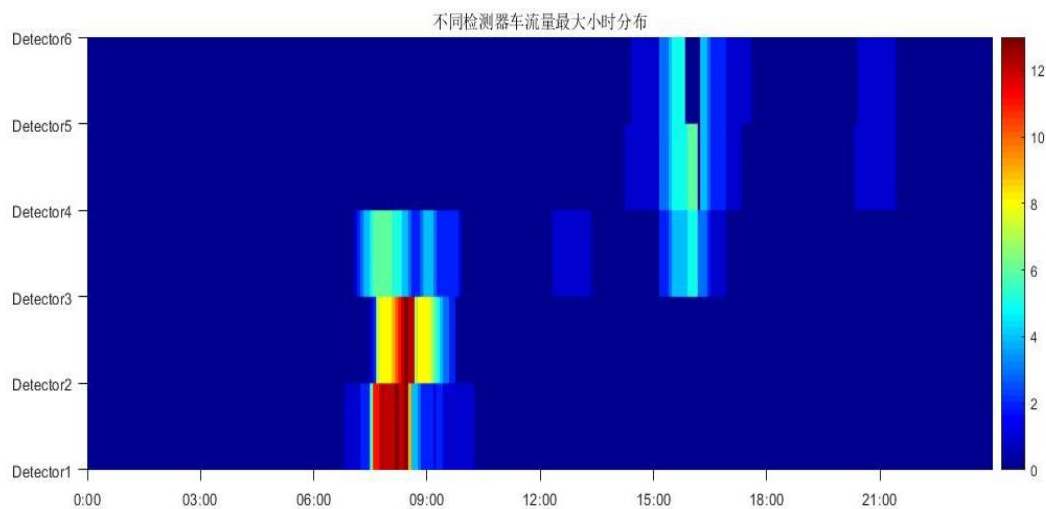


图 8 不同检测器车流量最高时的日分布

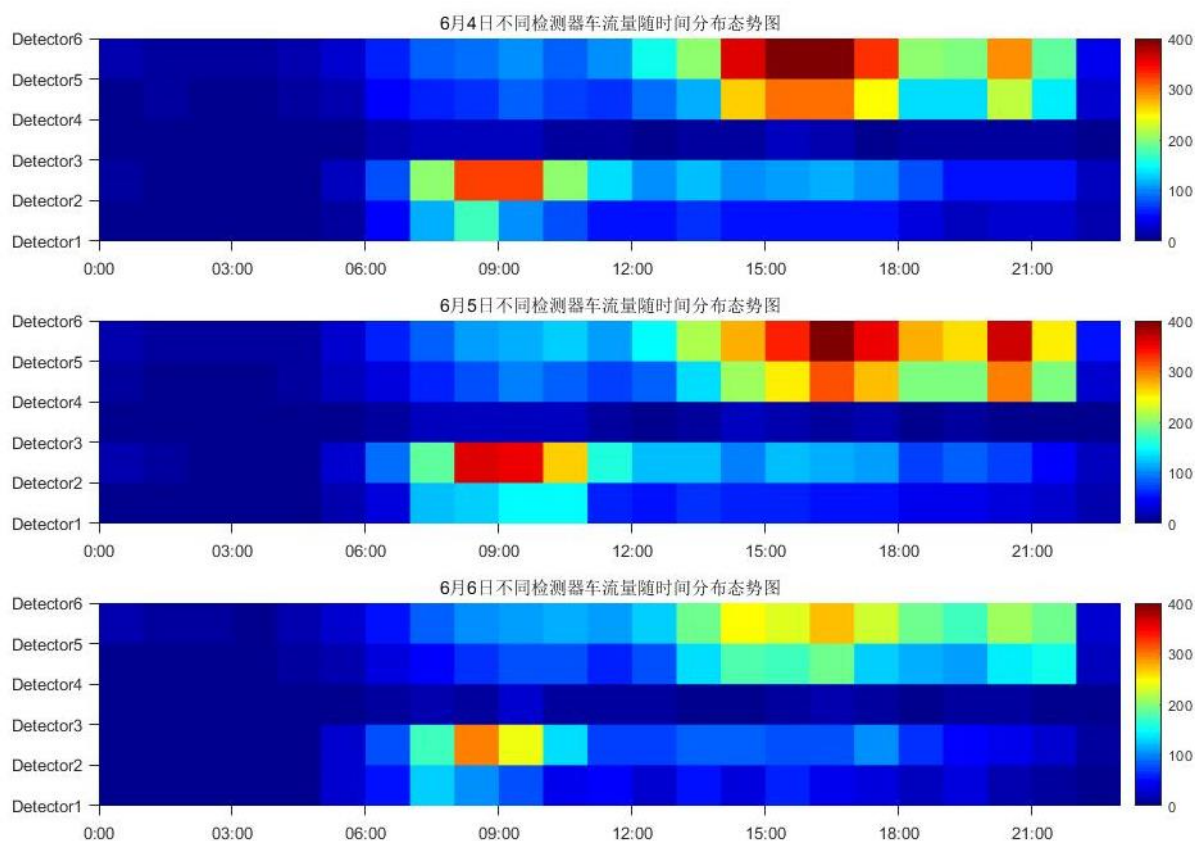


图 9 6 月 4 日至 6 月 6 日目标路口各检测器车流量态势图

通常来说，早晚高峰车流量总数应相差不大，并且该路口晚高峰呈现双峰现象，因此下午 16:00-17:00 高峰的车流量应当略小于早高峰，然而事实与之相悖，



为探讨原因我们进行探究，我们进行以下分析。

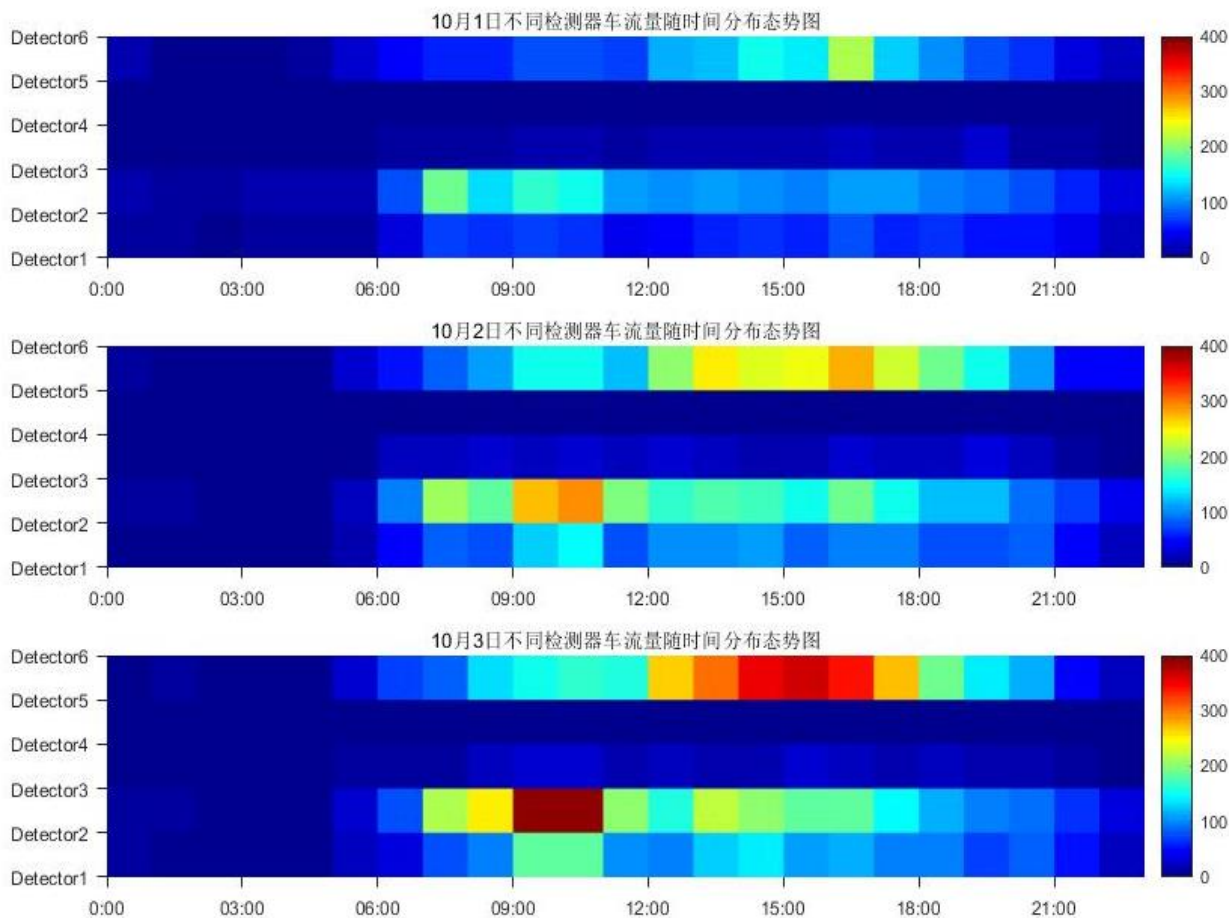


图 10 10 月 1 日至 10 月 3 日目标路口各检测器车流量态势图

首先，我们利用 2021 年 10 月 1 日至 3 日的线圈数据绘制同样颜色比例尺的态势图，结果如图 10 所示。观察发现：在国庆期间，其车流量分布呈现出的早晚高峰中，晚高峰关键小时车流量是略小于早高峰车流量的，符合正常认知；晚高峰车流量分布较早高峰车流量分布更为分散，这一点与花博会期间车流量规律相同。这样，我们排除了道路本身条件的干扰，也就是说，6 月 4 日至 6 日建设公路海洪南路路口车流量呈现的异常分布与当时的花博会背景有一定的关联。

为了解释车流量呈现的规律，我们搜集了花博会期间的一些资料，并且了解到，为了缓解崇明花博会期间的交通压力与停车压力，主办方与政府在花博会园区内设置了 9 个近端停车场，收费标准为小汽车 20 元/天、大客车 40 元/天，；在园区周围 10 公里内设置了 3 个远端停车场（建设公路上设置了一个远端停车场），免费停放，并且可以乘坐免费的接驳巴士到达园区，车辆在 8:00 前入场、



22:00 后离场需按超时缴费，收费标准为小汽车 4 元/小时、大客车 5 元/小时。停车场的位置详见图 11。

由此解释了第二个晚高峰出现在 21:00 附近的现象：①汽车在 22:00 后离开停车场需要超时缴费，因此部分将车辆停在建设公路远端停车场的参观人员，需要乘坐接驳巴士前往停车场离开花博会园区；②为避免行车拥堵，将车停在园区内 9 个近端停车场的参观人员可能在停车场“关闭”前一小时离场。



图 11 花博会期间近端与远端停车场设置

除此之外，花博会期间为了缓解交通压力，设置了一定比例的单行道，具体如图 12 所示。结合图 11 的停车场位置设定，观察发现，进入花博会的车辆主要通过蟠龙公路-北沿公路-林风公路-东风公路进入园区内部停车场，离开时北沿公路上的交通管制（东瑞路-建设公路东向西单行）则将相关车辆导向建设公路，主要从建设公路的南方向（北方向缺少主要公路）离开。

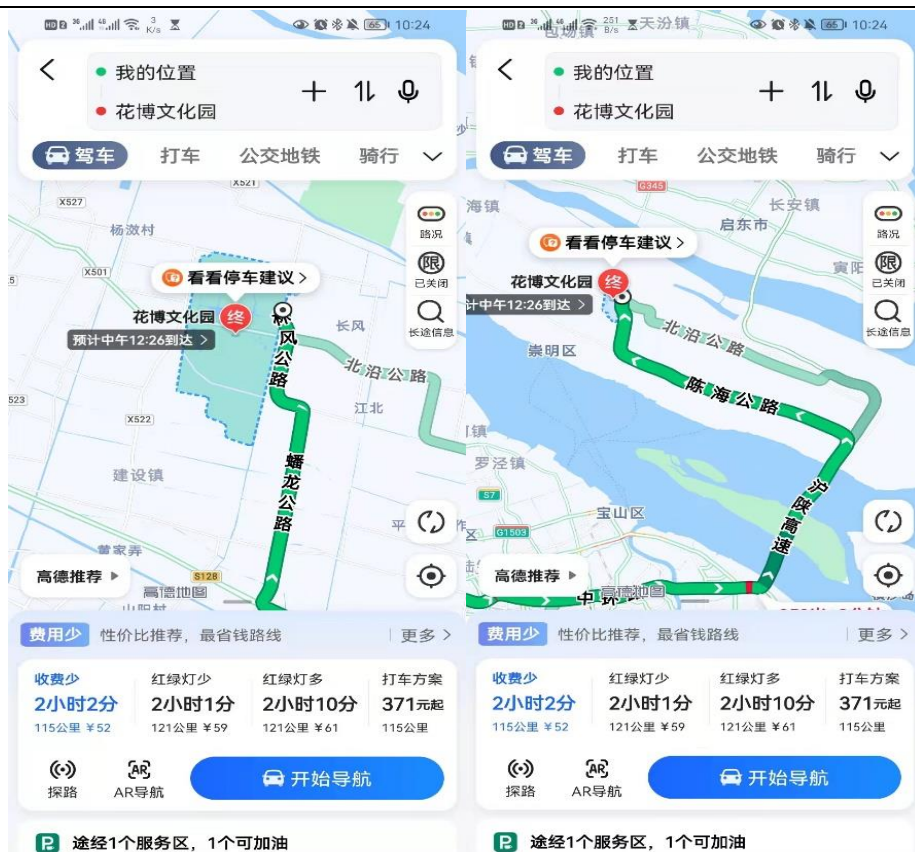


图 12 花博会期间单行道设置

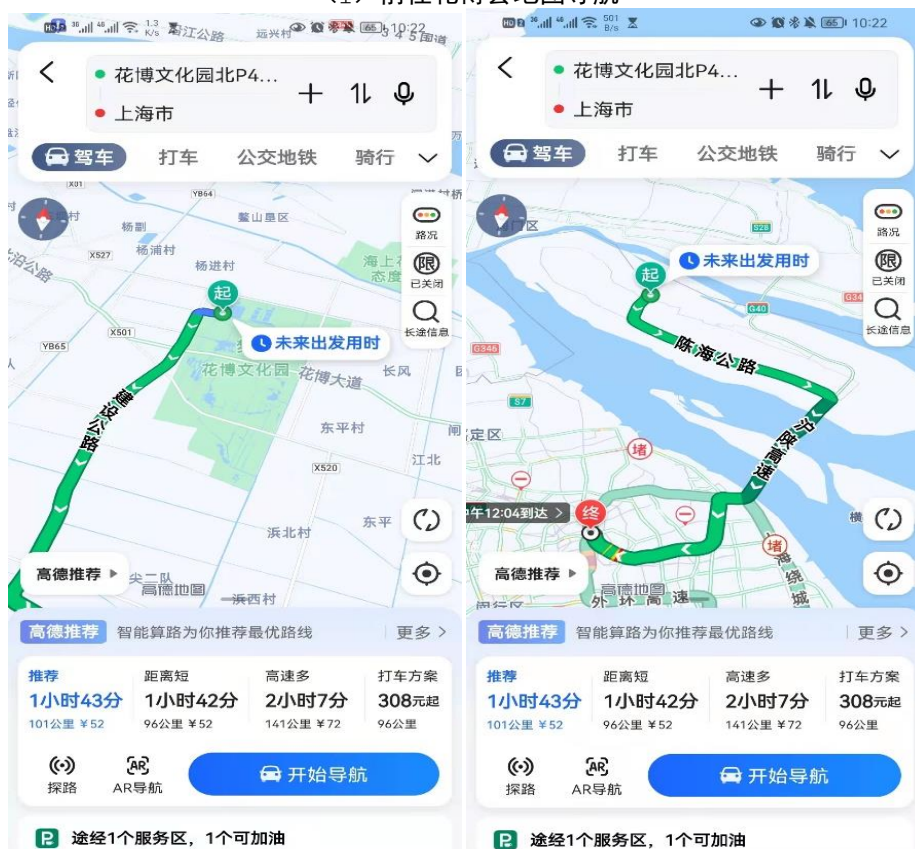
为了验证以上猜想，我们还分别使用百度地图、高德地图进行导航，结果如图 13 所示。在前往花博会园区时，导航软件结合交通管制等因素第一引导路线设定为陈海公路-蟠龙公路-林风公路；而离开花博会园区时，导航软件则将最佳路线设置为建设公路-陈海公路。

由于导航软件一定程度上影响行车者的心理，并在驾驶员的路径选择中扮演着一个十分重要的角色，因此诸如高德地图、百度地图此类的软件的导向作用值得我们的关注。

综上所述，花博会园区停车场的设置、单行道的设置、地图软件的导向作用等共同导致了建设公路海虹南路路口车流量呈现出的规律。



(1) 前往花博会地图导航



(2) 离开花博会地图导航

图 13 地图导航的影响



3.2. 专家咨询结果分析

分析信号配时发现一共有三种配时方案，分别针对上午（7：30-12：00）、下午（12：00-21：00）、夜间（21：00-次日 7：30）三个时间。其中上下午信号周期不变，仅有区域协调绿波控制中的绿波协调时间有区别，夜间和白天相比信号周期缩短且没有使用绿波协调。由于高峰时期与低峰时期车辆实际行程速度有差异，速度是设计滤波协调时间的关键因素，直接决定绿波带的效果，因此仅将时间简单划分为上午下午和夜间三个板块不够精细，可以由此为入手点进行控制方案优化。

该项目还在建设完善阶段，SCATS 系统仍在测试，有些线圈还没有投入正式使用，因此全部分析数据均为相对完善的 6 月 4 日及之后，同时预告了数据处理之中可能会遇到的数据缺失现象。

崇明岛众多交叉口信号配时方案设置主要是由交警依据经验进行设计，衡量与调整的依据通常是“不差”，而不是以“最优”为目标，因此可以作为优化的另一个着手点，结合线圈数据，设计优化方案。

对专家咨询结果分析，找到了优化的切入点，具体方案见第 5 部分。

3.3. 仿真结果分析

3.3.1. 出行时间

在上午的高峰小时数据设置基础上，对于 A 组，通过目标路口直行车道南向北方向（前往花博会园区）的所有车辆在固定路段上的平均出行时间为 47.83 秒，北向南方向的出行时间为 41.85 秒；对于 B 组，通过目标路口直行车道南向北方向（前往花博会园区）的所有车辆在固定路段上的平均出行时间为 46.16 秒，北向南方向的出行时间为 39.82 秒。

在下午的高峰小时数据设置基础上，对于 A 组，通过目标路口直行车道南向北方向（前往花博会园区）的所有车辆在固定路段上的平均出行时间为 30.99 秒，北向南方向的出行时间为 113.00 秒；对于 B 组，通过目标路口直行车道南向北方向（前往花博会园区）的所有车辆在固定路段上的平均出行时间为 30.69 秒，北向南方向的出行时间为 116.91 秒。

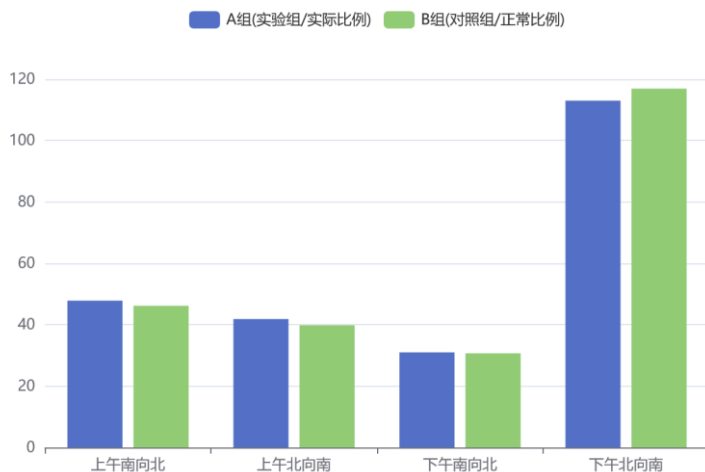


图 14 上午/下午高峰小时通过目标路口固定长度的车辆出行时间柱状图

结合输入的流量数据，分析发现：

- (1) 由于下午高峰小时的车流量更多，目标路口南向北与北向南方向的流量差异显著，导致下午北向南方向的车辆平均出行时间远大于其它时刻；
- (2) 在车流量较大时，花博会期间采用的交通管制措施以及设置的公交专线等会有效减少车辆的平均出行时间；在车流量较小时，这些举措与正常车辆组成情况下的车辆平均出行时间相差不大。

3.3.2. 静态停车延误与停车次数

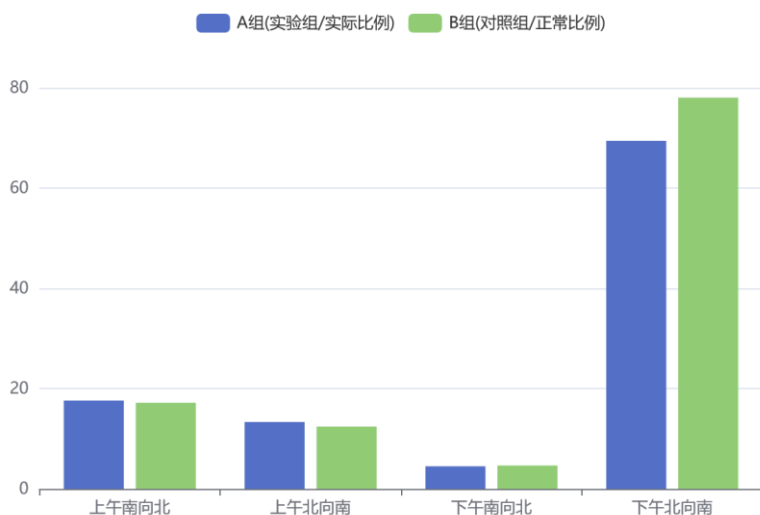


图 15 上午/下午高峰小时目标路口的平均车辆静态延误柱状图

在上午的高峰小时数据设置基础上，对于 A 组，通过目标路口直行车道南向北方向（前往花博会园区）的所有车辆在固定路段上的车辆平均静态延误为 17.61 秒，北向南方向的出行时间为 13.33 秒；对于 B 组，通过目标路口直行车



道南向北方向（前往花博会园区）的所有车辆在固定路段上的车辆平均静态延误为 17.17 秒，北向南方向的出行时间为 12.41 秒。

在下午的高峰小时数据设置基础上，对于 A 组，通过目标路口直行车道南向北方向（前往花博会园区）的所有车辆在固定路段上的车辆平均静态延误为 4.50 秒，北向南方向的出行时间为 69.42 秒；对于 B 组，通过目标路口直行车道南向北方向（前往花博会园区）的所有车辆在固定路段上的车辆平均静态延误为 4.65 秒，北向南方向的出行时间为 78.02 秒。

这里的数据规律与车辆出行时间基本相同，但是下午高峰小时南向北方向与北向南方向的对比更加明显；花博会期间采用的交通管制措施以及设置的公交专线等在大流量情况下对交通的改善效果也更加明显。

绘制停车次数柱状图，发现：

- (1) A 组与 B 组结果差异不大；
- (2) 目标路口在上午高峰小时平均停车次数小于 0.6 次，该路口信号控制方案表现良好；下午高峰小时南向北方向平均停车次数小于 0.3 次，然而北向南方向平均停车次数 A、B 两组分别为 1.71 次、1.64 次，下午的信号控制方案仍有改进空间。

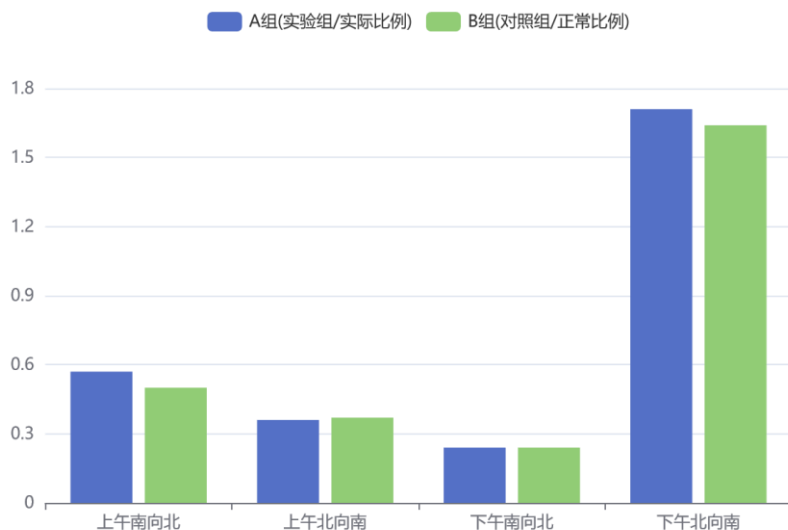


图 16 上午/下午高峰小时目标路口的停车次数柱状图

3.3.3. 排队长度

在上午的高峰小时数据设置基础上，目标路口直行车道南向北方向（前往花



博会园区)的平均排队长度为 25.87 米,北向南方向为 11.97 米;在下午的高峰小时数据设置基础上,目标路口直行车道南向北方向(前往花博会园区)的平均排队长度为 1.82 米,北向南方向为 90.33 米。

对比发现,在面对较大车流量、不同方向车流量差异较大的情况下,建设公路海洪南路路口的信号控制方案表现并不尽如人意;但总体表现尚可。

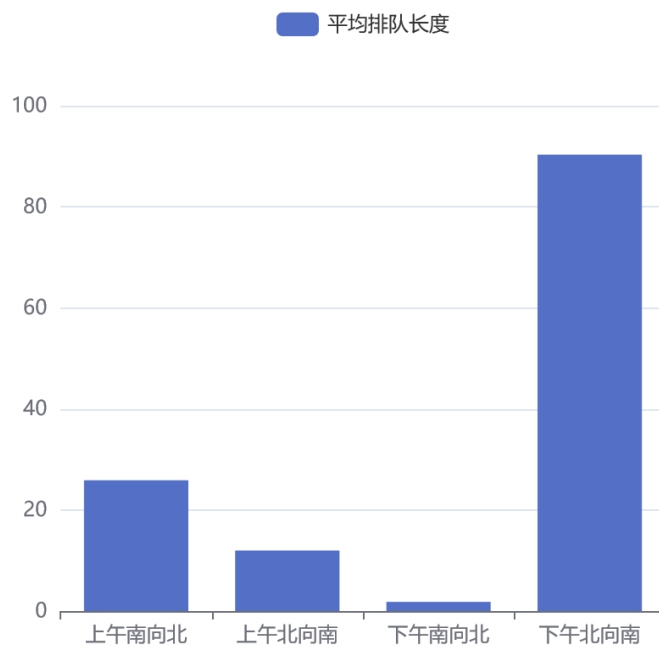


图 17 上午/下午高峰小时目标路口的平均排队长度柱状图

3.4. 数据深度利用——生态指标分析

3.4.1. 指标选择

为积极践行生态优先的绿色发展理念,选取生态评价指标对调研与仿真数据进行深度利用与分析,设计三级评价体系如下:

一级指标(一个): 信号协调控制交叉口停车次数不大于 1 次;

二级指标(四个): 交叉口停车测试;车辆区域协调控制技术测试;交叉口延误时间以及环境污染测试;交叉口信号评价测试

三级指标: 参考生态道路承载功能评价指标体系中涵盖的全部指标

3.4.2. 道路交通噪声的微观交通流分析方法

通过 VISSIM 建模仿真工具,可以得到逐车的速度、加速度、位置等信息,



将这些信息应用至日本 ASJ-RTN 2008 单车噪声排放模型中，计算指定接收点处的噪声评价指标，最后根据仿真结果展开生态道路与非生态在交叉口环境污染-噪声方面的分析。

目前现有的目前现有的交通噪声单车模型多为车辆行驶速度的回归模型，然而对于相同车速，处于稳定运行状态与处于频繁加减速状态的车辆所产生的噪声并不相同。为此，本文选用能够较好反映这一现象的日本 ASJ-RTN 2008 单车噪声排放模型。

参考日本 ASJ-RTN 2008 单车噪声排放模型，当不考虑路面材质、道路坡度等因素时，A 计权声功率级 $L_w(i, j)$ 可表示为

$$L_{w(i,j)} = a + b \lg v$$

	大型车		小型车	
	a	b	a	b
稳定状态	53.2	30	46.7	30
非稳定状态	88.8	10	82.3	10

其中 v 为车辆的运行速度， a 、 b 为与车辆类型、车辆运行状态相关的回归系数，取值办法如表 1 所示。将车辆分为稳定与非稳定运行两种状态：当车辆位于高速公路或远离交叉口处，能够以最高档行驶时认为该车辆处于稳定运行状态，其速度变化区间为 40 km/h 至 140 km/h；其他情况认为该车辆处于非稳定运行状态，速度变化区间为 1 km/h 至 60 km/h。对于某一车辆类型，不同运行状态对应不同的 a 、 b 取值。此外，当接近信号灯交叉口，车辆从稳定状态进行减速停车时或者以大于 60 km/h 的速度进行加速时， a 、 b 的取值参考稳定状态。非稳定状态下，当速度小于 10 km/h 大于 1 km 时， v 取 10 km/h 计算；当速度小于 1 km/h 时，认为其声功率为零。

将道路上行驶的单车视为半自由声场中的点声源，路网上某辆单车在接收点位置的 A 计权声压级 $L_{i,j}$ 与 A 计权声功率级 $L_w(i, j)$ 的关系可表示为

$$L_{i,j} = L_{w(i,j)} - 8 - 20 \lg r_{i,j} + \Delta L_{\text{cor}(i,j)}$$

其中 $L_w(i, j)$ 为第 i s 钟第 j 辆车在道路上的 A 计权声功率级，单位为 dB； $r_{i,j}$ 为该车辆与接收点的距离，单位为 m； $\Delta L_{\text{cor}(i, j)}$ 为与天气、地面吸



收等因素相关的修正系数, 单位为 d B。不考虑天气影响、地面吸收因素时, (2) 可简化为

$$L_{i,j} = L_{w(i,j)} - 8 - 20 \lg r_{i,j}$$

第 i 秒钟路网上所有车在观测点处的噪声为

$$L_i = 10 \lg \sum_{j=1}^{m_i} 10^{0.1L_{i,j}}$$

式中 m_i 为 i 秒钟路网上的车辆数量。

那么, 一段时间在观测点上接收到的噪声等效值为

$$L_{eq} = 10 \lg \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T 10^{0.1L_i}$$

式中 T 为计算时间, 单位为 s。

3.4.3. 环境污染测试结果——噪声污染情况分析

《上海市区域环境噪声标准》规定, 交通干线道路两侧:

白天 7:00-21:00 不超过 70dB(A)

早晚 5:00-7:00; 21:00-23:00 不超过 55dB(A)

深夜 23:00-5:00 不超过 50dB(A)

根据上海市城乡建设和交通发展研究院与上海城市综合交通规划研究所编写的《2021 上海市综合交通发展年度报告》, 在过去的一年中, 昼间交通噪声平均等效声级为 68.2dB(A), 满足《上海市区域环境噪声标准》; 夜间交通噪声平均等效声级为 63.4dB(A), 超过了《上海市区域环境噪声标准》所规定的交通噪声最大值。

表格 2 目标路口交通噪声实际测量声效等级表

噪声测量软件	交通噪声声效等级/dB(A)	
	有车	无车
A	59	49
B	51	50
C	57	50.8
D	60.6	47.4
平均值/dB(A)	56.9	49.3

通过实地测量, 崇明岛生态道路中建设公路海洪南路路口在有车通过时交通



噪声声效等级为 55-60dB(A)，均值为 56.9dB(A)，无车通过时交通噪声声效等级为 45-50dB(A)，均值为 49.3dB(A)。

经过 PTV VISSIM 仿真验证，计算出该路口的上午高峰小时噪声平均声效等级为 56.58dB(A)，下午高峰小时噪声平均声效等级为 58.47dB(A)。这一现象说明了崇明岛生态道路建设在环境污染-噪声评价方面的成功。

经过查阅资料，发现崇明生态道路采用半透式双层排水路面，能吸收机动车运行过程产生的噪音，且根据基于孔隙特征的透水铺装生态功能性研究得知，降噪性能和微观孔隙特征参数具有较好的相关性。生态道路也应用了降噪低维护生态+型无伸缩装置桥梁关键技术，采用满足低环境影响要求的桥梁结构形式。

除此之外，智能交通系统下先进的信号控制方案一定程度上降低了目标路口的噪声污染。这是因为崇明生态道路采用了绿波带，使行驶在主干道协调控制交叉口的车辆可以不遇红灯或者少遇红灯。而根据参考文献[5]，不同车型在不同运动状态下的噪声附加值如下表所示。绿波协调降低了通过路口车辆的停车次数，减少了其在路口的加减速过程，降低了噪声污染。

表格 3 噪声附加值的取值

车型	运动状态	$\Delta A/dB$
L	加速	+7.25
L	减速	+3.2
M	加速	+4.32
M	减速	+1.51
S	加速	+3.55
S	减速	-2.8

3.5. 其余指标

在 4.3 部分已有详细分析，在此不做过多赘述。



4. 信号控制方案优化方法手段

首先，本章简单介绍了目标路口采用的信号控制系统；并通过对专家咨询结果、采集数据、仿真数据进行分析，设计了两种信号控制方案优化方式。

4.1. SCATS 系统简介

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System: 悉尼交通自适应协调系统) 是一种实时自适应控制系统, 该系统寻求一种能最大限度减少路网上车流延误和停车次数的配时参数优化算法。SCATS 系统以子系统为基础控制单位, 在所有交叉口的每一个进口都布设车辆检测器 (如电感线圈), 分别布设于每条车道停车线上游约 2m 位置, 根据车辆检测器所提供的实时交通量数据和停车线断面在绿灯期间的实际通过量, 算法系统选择子系统内各交叉口共用的信号周期长度、各交叉口的绿信比及绿灯起步时距, 并考虑相邻子系统合并的可能, 选择合适的子系统间的绿灯起步时距。

SCATS 系统的控制策略如下表所示:

交通条件	反应对策
繁忙交通要求	使通行量最大
正常交通要求	使延误最小
轻微交通要求	使停车次数最少

4.2. SCATS 系统组成

SCATS 系统可以根据受控路口多寡及系统需求采用二级或三级控制方式。而一个完整的三级控制系统包括路口控制、地区控制和中央控制; 采用二级控制时, 只包括路口控制和地区控制。

路口控制是由信号控制机对某个具体路口进行的控制, 它的输入信息来自埋设在路口停车线前 1-1.5 米左右的感应线圈和行人按钮, 输出灯色信号, 指挥交通。路口机最大输入可以达到 32 路检测器输入, 因此足以适应车道多而相位复杂的路口。

地区控制是系统关键。路口信号控制机采集的实时信息源源不断地送往位于地区控制室的地区主控计算机, 由主控计算机综合计算得出优化最佳控制方案及

时送回信号控制机执行。

中央监控计算机主要完成与各地区计算机的联系,以及与中央管理计算机的连接。中央控制级的建立,使我们可以很方便的在各级计算机终端上、或者临时插接到信号控制机的现场终端上,对任一路口的运行实况进行监视、数据修改或者发布命令,使数百路口的集中监控得以实现。

下图为 SCATS 系统结构示意图。

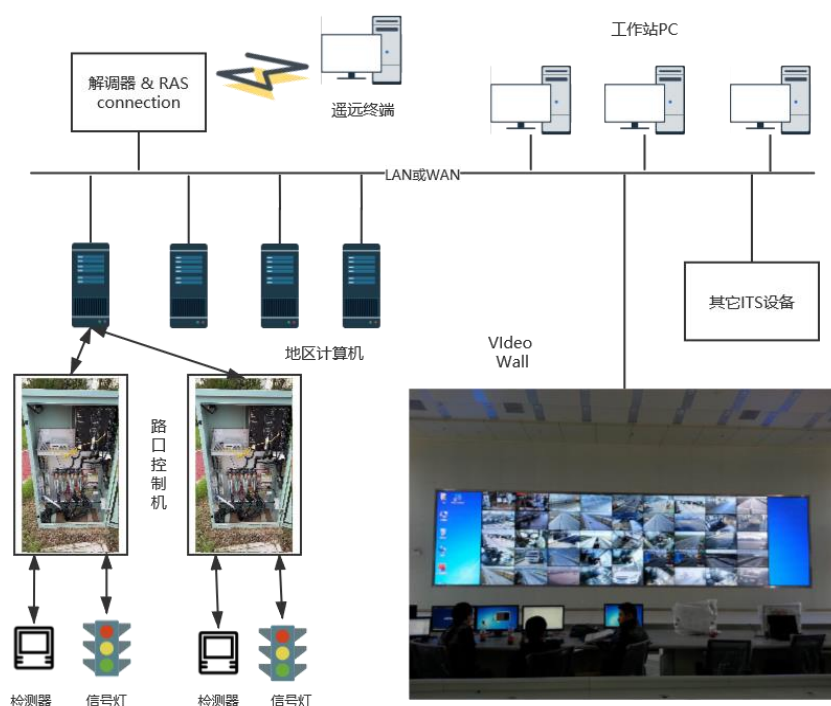


图 18 SCATS 系统结构示意图

4.2.1. 路口控制

SCATS 系统的路口控制模块采用 16 位微处理器芯片, 主要功能包含:

- (1) 接受、处理来自检测器的信号, 自主进行单点感应控制;
- (2) 接受、预处理来自检测器的信号, 向地区主控机传送信息, 并接受主控机的各种控制信息, 进行控制;
- (3) 按预置要求或故障降级要求进行无电缆协调控制;
- (4) 自动故障检测、报警。

其路口控制模块采用“特征软件”保证信号安全正常运行。路口“特征数据”包括:



- (1) 信号相位数、相序、检测器数、信号组数以及它们之间的相互关系；
- (2) 相位时间段如：最小绿、最大绿、绿闪、黄灯、全红等时间限定；
- (3) 单点全感应基本参数（空挡时间、浪费时间……）；
- (4) 无电缆控制所需的基本参数（方案、时段、感应要求）。

4.2.2. 地区控制

在 SCATS 系统的地区控制中，主机使用 PDP11 系列（V5.3 之前，可控制多达 128 个路口），或 PC 工控机（V6.0 之后，可控制多达 250 个路口），是实现自适应控制的重要部分，具有以下四个主要功能：

- (1) 接受信号控制机信息，进行计算、处理，并回传优化的自适应区域控制信息；
- (2) 向路口信号控制机传送强制信息，进行人工控制；
- (3) 自动接收、存储路口信号控制机故障信息、并在操作终端上报警显示；
- (4) 下达指令，获取路口流量信息、系统运行信息，并可存储、分析。

4.2.3. 中央控制

SCATS 系统在路口控制的数量超过一定限量之后，就需要设立中央监控计算机，使用 PDP11 系列及 VAX11 管理计算机（V5.3 之前），或 PC 工控机（V6.0 之后）。中央监控计算机不直接进行自适应控制，通过它可以监视运行、修改数据、人工干预等等。它的通信功能使得所有的地区及其下属路口连通，方便信息传送。

4.2.4. 系统控制

地区控制计算机与路口信号控制机之间采用星形连接方式（租用或专用电缆、光缆直接连接）或网络连接；地区控制计算机与中央监控计算机采用星形连接方式（直接电缆或光缆连接，电话拨号连接）或计算机网络连接。

4.3. 基于定时控制的区域协调控制方案优化

现有区域协调控制方案信号配时固定, 绿波协调控制策略固定, 虽然针对不同时段有不同的信号配时方案与绿波协调时间, 但时间间隔跨度很大, 同一时间间隔内交通状况差异较大, 区域协调控制并没有发挥出它的全部优势。

4.3.1. “绿波带”原理

在现代城市交通信号控制中, 为了保证主要路线的畅通, 经常会使用干线协调控制, 即“绿波带”控制模式。有了“绿波带”, 那么其优先保持畅通的车流, 就可以“一路绿灯”地通过其道路控制区域, 尽量减少路口的停留时间。当然, 单向的“绿波带”主要是为了保证某个交通流的畅通, 这样一来, 往往会限制其它交通流的通行时间。

绿波带原理示意图如下:

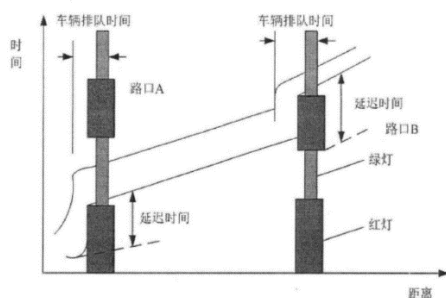


图 19 无协调 (无“绿波带”)

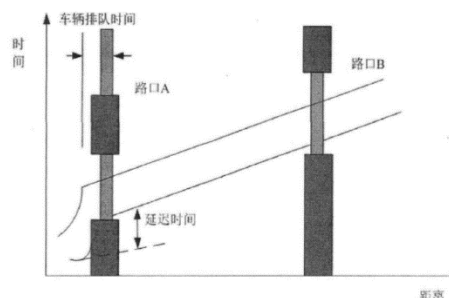


图 20 有协调 (有“绿波带”)

绿波带的实现方法:

- (1) 单向绿波带所有参与绿波带的路口, 基准时间、周期等因素要统一。
- (2) 根据路段长度及平均车速, 确定绝对相位差。
- (3) 要把控制模式设定为线控或无电缆协调控制

4.3.2. 调整时段划分以及其对应的绿波协调时间

根据数据分析结果, 目前呈现出的以日为单位的交通特征为上午进城方向流量大于出城方向流量, 下午反之, 各自出现高峰与平峰差别, 且进进城方向早高峰流量低于出城方向早高峰流量, 因此、时段划分与绿波协调时间设计如下:



表格 4 时段划分与铝箔协调时间设计表

时段名称	时段时间	绿波协调时间
早平峰	7:00-8:30、10:30-12:00	8
早高峰	8:30-10:30	9
晚平峰	12:00-15:00、18:00-22:00	60
晚高峰	15:00-18:00	58
夜间	22:00-次日 7:00	0

4.3.3. 调整定时信号周期与绿信比

目前信号配时方案由交警按照经验设置，因为线圈数据可以很方便处理得到各方向各车道的流量信息，可以依据流量数据进行信号配时优化调整。但由于现有线圈数据较少，实际行人数据未知，可以在 SCATS 系统正常工作一年之后对数据进行整体分析，得到全年流量变化，针对性优化交叉口信号配时，如果其流量在一年当中差异较大，也可依据流量划分为高峰季、平峰季。设计不同的绿信比与信号周期，增大交叉口的时间利用率。

由于目前所缺数据较多，因此此次优化中依然使用原有信号配时方案

4.4. 基于可变信号的区域协调控制优化

由于建设公路所处特殊地理位置，其交通流量日变化差异较大，定时信号控制会出现次路无流量但主路排队较长或者主路流量较少，但次路红灯时间依然很长等现象，时间资源利用率波动较大，因此设计可变信号控制，进一步优化交叉口信号控制方案。

4.4.1. 单进口道三状态划分

首先结合崇明岛 SCATS 系统在交口和路段中都布置线圈的线圈布设方式，根据进口道排队长度对主路状态进行划分，定义交叉口的排队长度为 L_q ，根据上述原则确定的饱和点与溢出点，可以将交叉口进口道划分为三个状态，分述如下：

状态一：不饱和状态

当排队长度位于饱和点之前，即 $L_q < L_1$ ，此状态称为不饱和状态（状态一），如图 21 所示。



图 21 不饱和状态（状态一）示意图

该状态排队长度在原有配时的情况下能够在一个周期的绿灯时间内消散，因此原有信号配时方案满足需求。

状态二：饱和不溢出状态

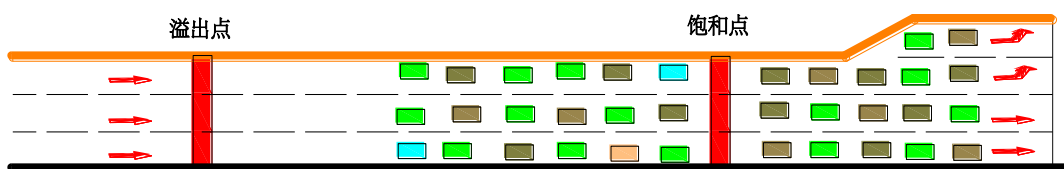


图 22 饱和不溢出（状态二）示意图

当排队长度介于饱和点和溢出点之间，即 $L_1 < L_q < L_2$ ，此状态称为饱和不溢出状态（状态二），如错误!未找到引用源。所示。

该状态排队长度在原有配时的情况下不能在一个周期的绿灯时间内消散，因此需要进行调整。同时该状态排队长度处于的区间 $[L_1, L_2]$ 为优化控制的调整区间，对应于此区间内的不同排队长度，当出口道车速、横向道路（以优化纵向道路为例）拥挤状况满足相应要求时，进行不同等级的信号配时调整，详细调整方法见交叉口信号系统优化控制研究部分。

状态三：饱和溢出状态

当排队长度超过溢出点位置，即 $L_q > L_2$ ，此状态成为饱和溢出状态（状态三），如图 23 所示。

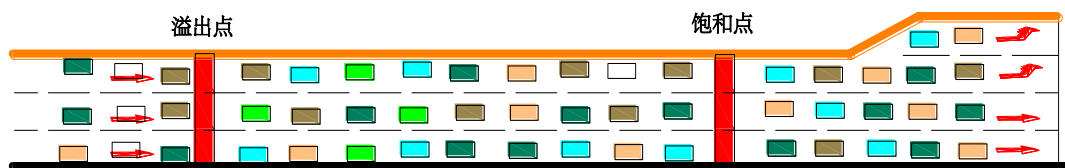


图 23 饱和溢出状态（状态三）示意图

该状态排队长度会对上游交叉口造成较大影响，因此需要系统在状态二的时候

候进行充分协调调整，避免状态三饱和溢出状态的出现。若当饱和溢出状态出现时，应该结合上游交叉口进行联动控制，例如减少上游交叉口绿灯时间，从而减少进入本交叉口进口道的车辆数等控制方法。

4.4.2. 可变信号控制逻辑设计

结合路段状态划分对信号控制方案进行设计，逻辑图如下：

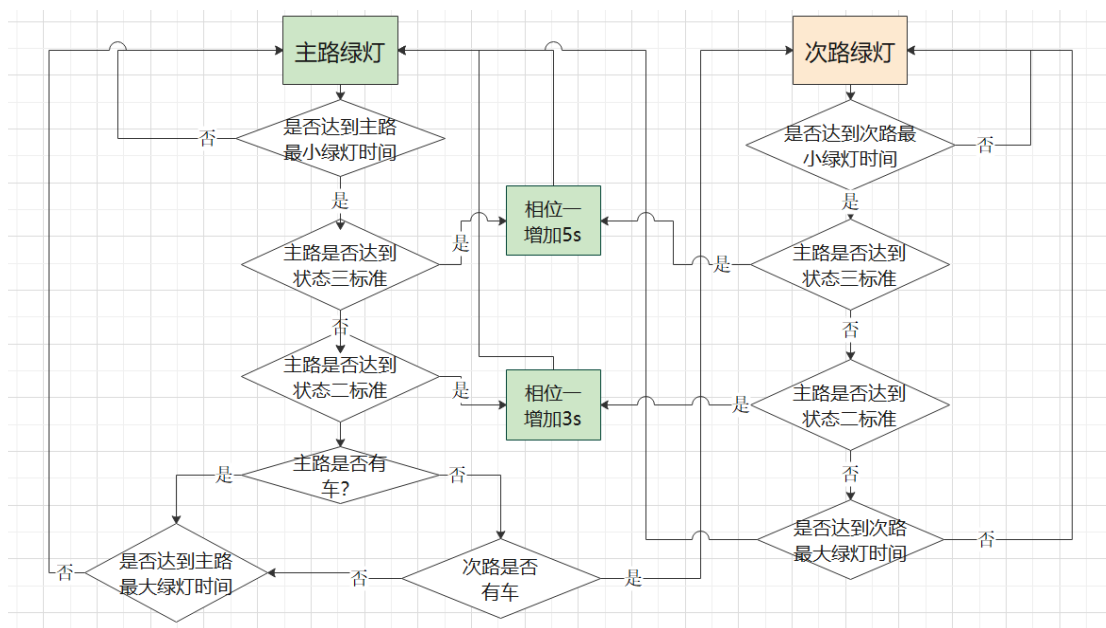


图 22 可变信号控制逻辑图

设置最小绿灯时间保证行人过街需求，减少频繁变换相位对交通状态的干扰，设置最大绿灯时间保证单方向等待时间不会无限增加。状态一、二、三指的是核心交叉口主路建设公路上的进口道状态数据。上午由南向北（进城方向）为判断依据，下午以由北向南（出城方向）为判断依据。

4.4.3. 状态检测设备支持与原理

路段中布设线圈，增加了流量监测点，使采集流量的基础上还可以采集到流量差数据。

具体原理如下：在车辆排队长度测量区间起始端，根据使用要求布设线圈检测器。检测器采集车辆通过检测器时所产生的信号脉冲，计算出通过检测器的流量差、车速、车辆长度等信息，利用区间两端检测器的流量差，通过模型迭代推

算出区间内的排队长度。

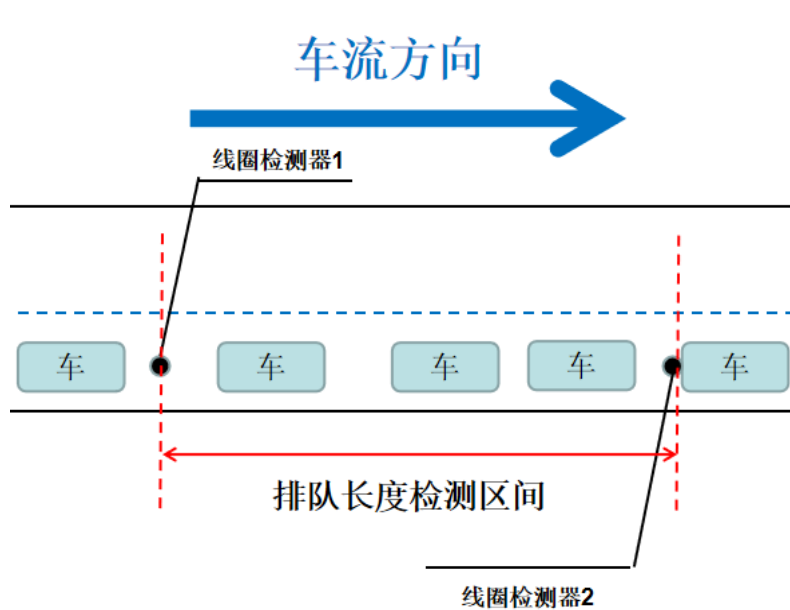


图 25 线圈检测原理示意图

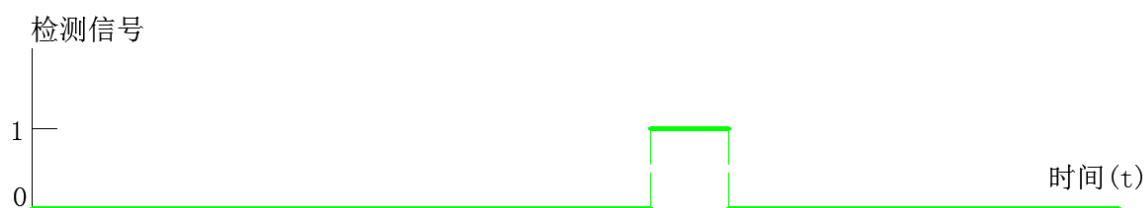


图 26 线圈 1 检测输出波形图

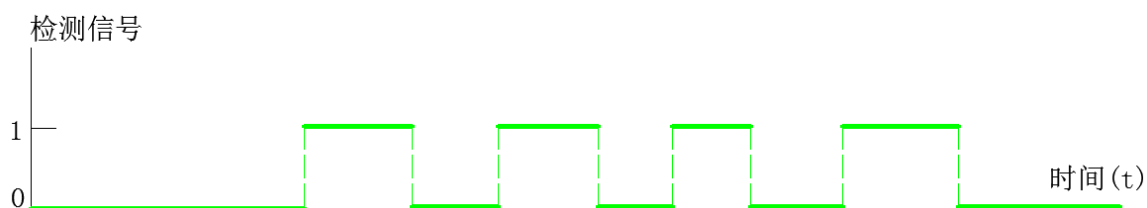


图 27 线圈 2 检测输出波形图

如图 25、图 26、图 27 所示，线圈 I 通过了 Q_1 辆车，线圈 II 通过了 Q_2 辆车，则排队的车辆数为两检测器脉冲信号的差值，排队长度为应用模型推算迭代的每辆车长度与车距之和。

4.4.4. 局限

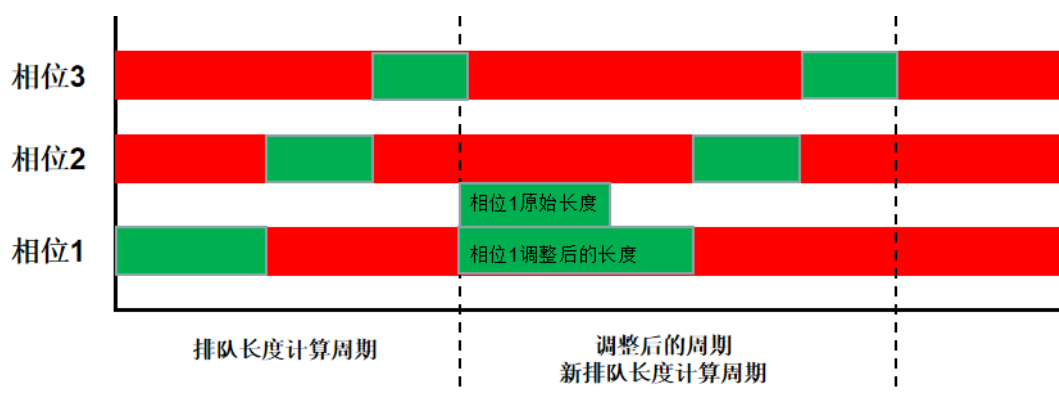


图 28 优化过程时序逻辑图

针对核心交叉口，可变信号控制能大幅度提升交叉口通行能力，但在全局，由于区域协调——“绿波带”控制下，绿波协调时间的固定的，而可变信号控制会改变信号周期，此时会影响到下游绿波控制，甚至使绿波失效，影响车辆正常行驶。如果对绿波协调时间也进行可变设计，需要算法较复杂，一旦出现故障，其结果可能远远低于定时信号控制下的协调控制结果。即使设计出较完美的算法，考虑到现有通信设备计算控制设备成本情况下，其实用性不强。但在未来，智能交通进一步发展，该设想完全可以实现。

4.5. 信号控制优化小结

通过对建设公路海洪南路路口信号控制方案时间进一步细化，既解决高客流量情况下的拥堵问题，又增加了平峰期和夜间的资源利用效率，根据实际情况调整相位，使信号控制更智能。此外，结合不同时段具体交通特征，调整邻近的两个路口相位差，调整优化区域协调控制措施，进一步改善拥堵问题。

道路交通信号控制系统使用可变信号控制方案后，能大幅度地提高道路的通行速度包括平均速度和行驶速度，能够大大提高建设公路作为主干道的通行效率，降低行程时间和延误时间，降低车辆运行的社会成本和经济成本。此外，运行速度的稳定能够减少车辆的尾气排放，减少对空气的污染，对提高环境质量有很大的益处。但着眼于区域线协调甚至面协调，由于目前缺乏较为使用的区域协调算法，而信号周期可变的情况下，绿波协调时间为定值的区域协调方式很难发挥作用。未来可以进一步研究更高级的区域协调控制算法，争取实现区域范围内的基于全



感应信号的协调控制。

5. 结语

通过现场实地测试、专家咨询、仿真分析等一系列方法对现有上海市崇明区 SCATS 系统运行情况进行分析,可以看出目前该系统使用情况较好,区域协调控制下交通状况良好,基本满足生态指标的要求,但其仍存在一些可以改进的地方,比如协调方式时间区段划分过大,信号配时方案设计不够精细化等,针对目前不足之处提出目前可行以及未来可行的两种改进方案。最后,实习虽然告一段落,但交通建设与优化永远不会停止,本文希望现有的分析结果以及优化方案设计能对工程实践有所帮助。

6. 参考文献

- [1] 李嘉如¹, 张方伟¹, 李志斌^{2,3}, 陈继红¹, 李强⁴, 周斯佳¹.可变信号周期的干线公交分段绿波协调控制方法[J].南京工业大学学报(自然科学版),2019,第41卷(3): 383-390
- [2] 周宁.城市道路公交信号优先协调控制方法研究[D].北方工业大学,2016
- [3] 白小雷.基于SCATS系统信号控制方案的设计与优化[D].北方工业大学,2011
- [4] 高万晨.城市道路交通噪声评价、预测与控制方法研究[D].北京交通大学,2016.
- [5] 王超,蔡铭,丁建立.城市信号控制交叉口交通噪声预测模型研究[J].环境科学与技术,2015,38(06):252-257.